بسم الله الرحمن الرحيم وبه نستعين

1

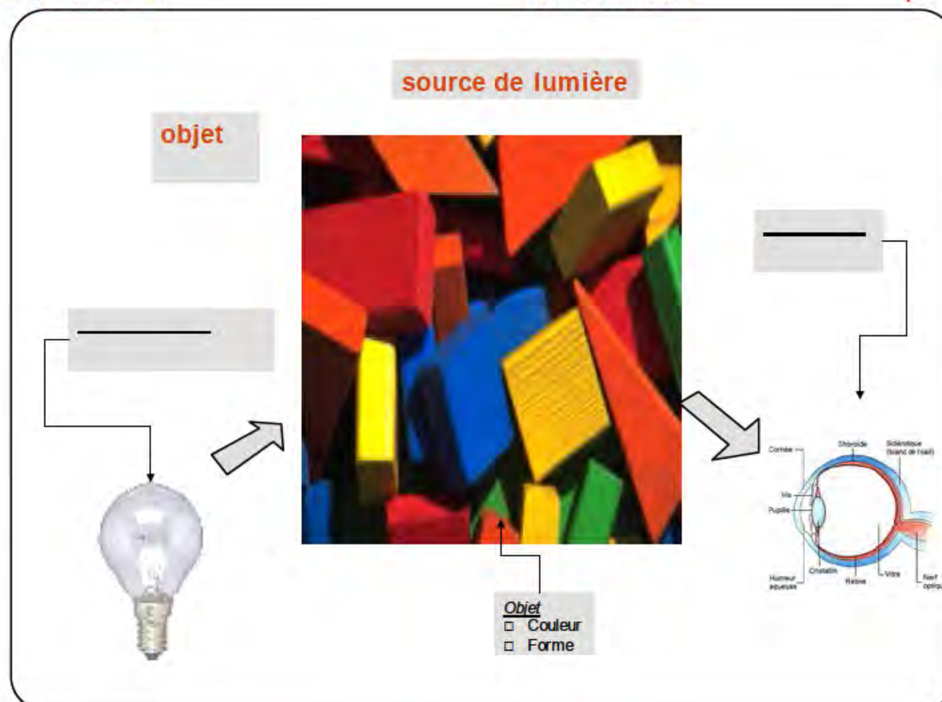
Chapitre II.

OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

2

II.1 INTRODUCTION ET GÉNÉRALITÉS

3



Chapitre II.1.1 Qu'est ce que l'optique?

L'optique est une branche de la physique qui s'intéresse à l'étude des phénomènes lumineux.

Domaine très large:

- Perception du monde qui nous entoure (formation des images).
- Instruments d'optiques (caméscope, télescope, camera, microscope, ...).
- Propagation d'information via la lumière (fibre optique).
- Sources lumineuses (laser, lampe Sodium, ...).
- Détecteurs (Caméra IR, photo détecteur, …).

5

La lumière nous permet de distinguer les différents objets ou images.





La visibilité des objets ou images est conditionnée par :

1. La lumière visible (0,4 μm ; 0,8 μm).
2. La taille de l'objet.
3. La position de l'objet.

1

II.1.2 Origine de la lumière.




La lumière est le résultat du mouvement des charges électriques élémentaires.
On distingue, les sources lumineuses naturelles.
Et le sources lumineuses artificielles.

7

Elles peuvent êtres **PONCTUELLES** ou **ÉTALÉES**.

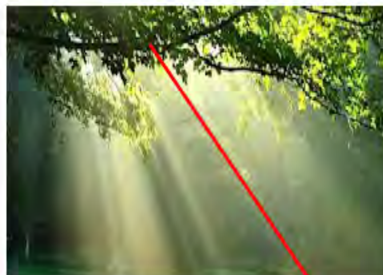



DIRECTES ou **INDIRECTES.**

Toute source lumineuse étalée directe ou indirecte, peut être considérée comme un ensemble de sources lumineuses ponctuelles.

8

II.1.3. propagation de la lumière.

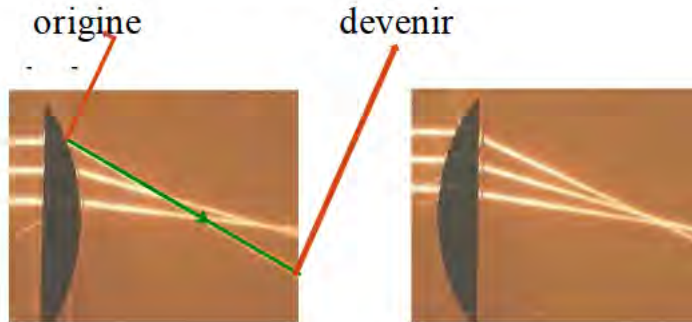



ans le cas des milieu isotrope, la
fait toujours en ligne droite orie



9

On peut la considérée comme étant la trajectoire de l'énergie lumineuse à travers les milieux isotropes.



• Lorsque la lumière traverse un système optique, elle change de direction.

10

II.1.4 Milieu de propagation.

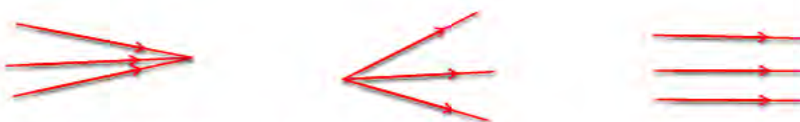
❑ Les milieux **translucides**. A travers les milieux **translucides**, on **ne peut pas voir nettement**. Une partie de la lumière **ne traverse pas** les milieux translucides.

❑ Les milieux opaques. La lumière ne traverse pas les milieux opaques.



11

II.1.5.2 Rayons, pinceau et faisceau lumineux.



II.1.6 Célérité de la lumière.

La vitesse de la lumière dépend de la nature du milieu qu'elle traverse.

12

Dans le vide sa vitesse est notée **C**, et elle est égale **$C = 3\ 10^8$ (m/s).**

Lorsque la lumière traverse un milieu transparent sa vitesse diminue celle-ci est notée **V**

II.1.7 Indice de réfraction des milieux.

On définit **l'indice de réfraction (n)** d'un milieu, par le **rapport** de la **célérité** de la lumière sur la **vitesse** de celle ci dans le milieu considéré.

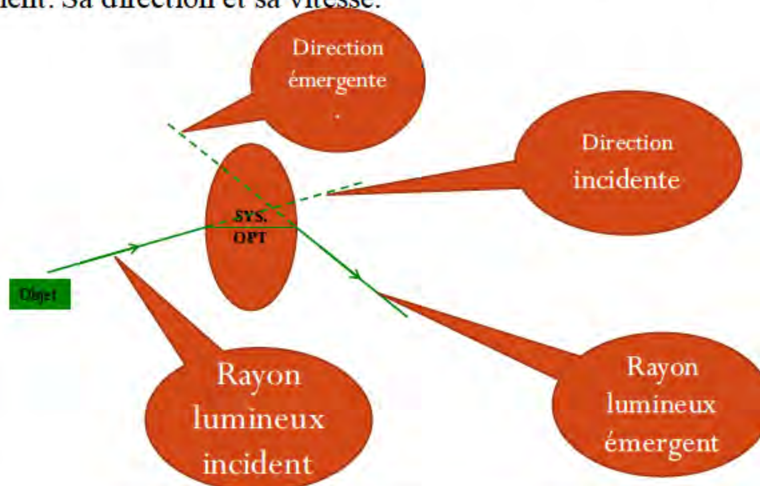
$$n = \frac{C}{v}$$

13

II.1.8 Système optique.

II.1.8.1 Définition d'un Système optique.

Lorsque la lumière change de milieux deux de ces paramètres varient. Sa direction et sa vitesse.

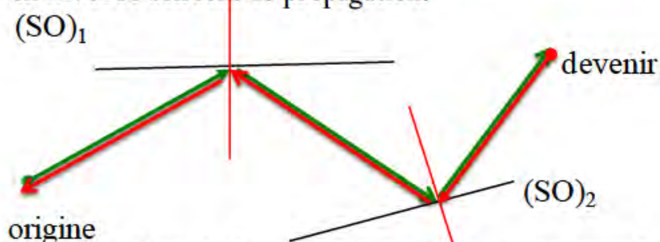


II.1.8.2 Système optique stigmatique

Si l'image observée à travers le système optique est nette le système est **stigmate**.
Sinon il est **astigmate.**

II.1.9 Principe du retour inverse de la lumière.

La trajectoire de la lumière traversant un ensemble de système optique est la **même** lorsque l'on **inverse** son sens de propagation.



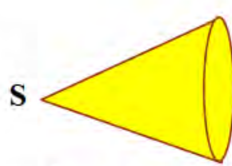
Le chemin suivi par la lumière, lorsqu'elle se propage dans un sens, est le même que si l'on inversait son sens de propagation.

15

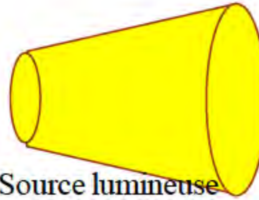
II.1.10 Notion d'objet et d'image.

II.1.10.1 Notion de source lumineuse.

Il existe deux types de sources lumineuses. Les sources lumineuses directes et les sources indirectes. Elles peuvent être:
Des sources lumineuses ponctuelles, Ou des sources lumineuses étalées.



Source lumineuse ponctuelle.



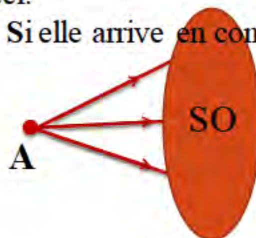
Source lumineuse étalée.

Les source lumineuses étalées peuvent être considérées comme un ensemble de sources lumineuses ponctuelles.

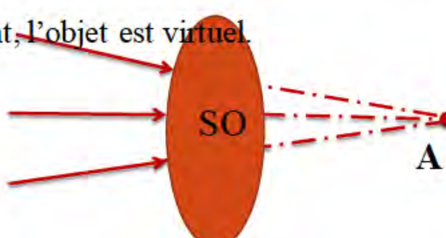
Toute source lumineuse directe ou indirecte peut être considéré comme objet. Il peut être réel ou virtuel.

II.1.10.2 Notion d'objet

La lumière incidente, arrivant sur un système optique définit l'objet. On distingue deux cas:
Si la lumière arrive sur le système optique en divergeant, l'objet est réel.
Si elle arrive en convergeant, l'objet est virtuel.



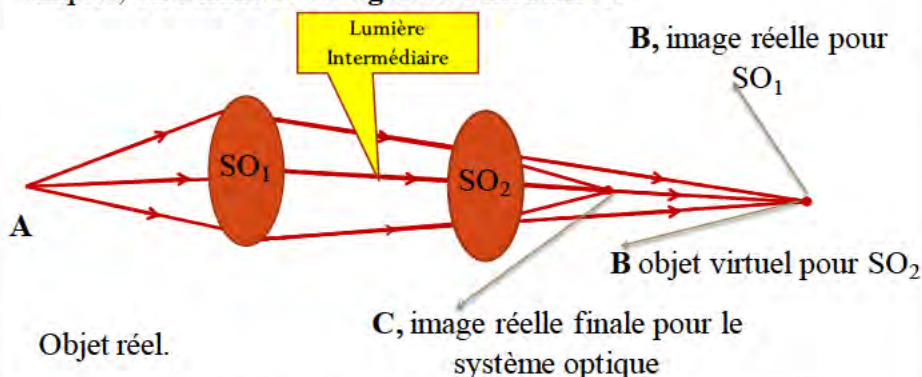
Objet réel.



Objet virtuel.

II.1.10.4. Notion d'image intermédiaire.

Lorsque le système est **composé** de plusieurs systèmes optiques simples, on définit des **images intermédiaires**.



Le **point B** est appelé image **intermédiaire** ou bien **objet** intermédiaire.

Remarques:

1- Dans un **système optique** composé on **ne voit jamais** les **images intermédiaires.**

2- Les **images intermédiaires** sont schématisées pour définir les **différentes positions** ainsi que les **caractéristiques** de l'image **finale.**

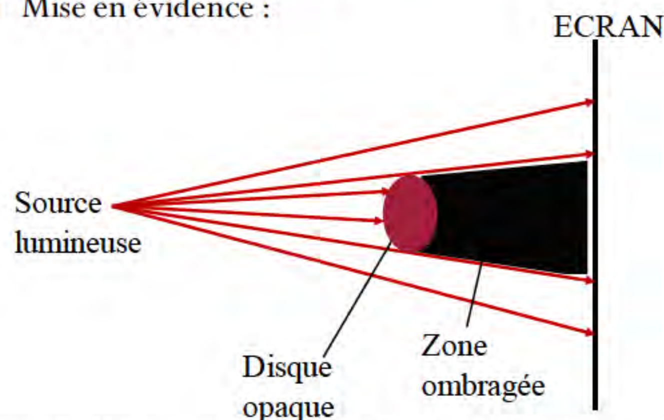
3- Dans un système optique on **ne voit que l'image finale.**

20

II.1.10.5. Notion d'ombre et de pénombre.

II.1.10.5.1 Définition de l'ombre.

- Mise en évidence :



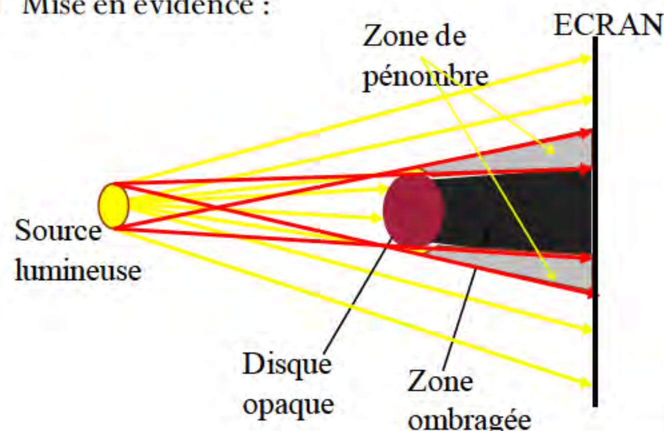
La zone de l'écran qui n'est pas touchée par les rayon lumineux définit la zone **d'ombre**.

21

II.1.10.5.2 Définition de la pénombre.

Lorsque la source lumineuse n'est pas ponctuelle on définit la zone **d'ombre** et la zone de la **pénombre**

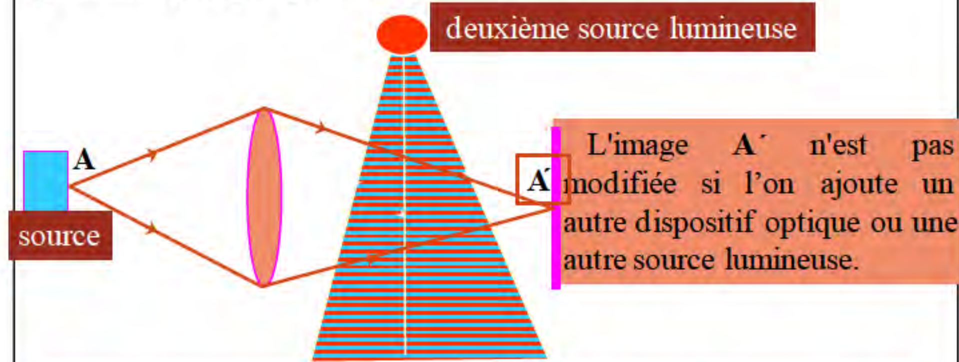
- Mise en évidence :



22

II.1.10.6. L'indépendance des rayons lumineux

Formons sur un écran l'image **A´** d'un objet **A** par un système optique quelconque..



La propagation de l'énergie lumineuse le long d'un rayon lumineux est indépendante des autres rayons lumineux.

Chapitre II:

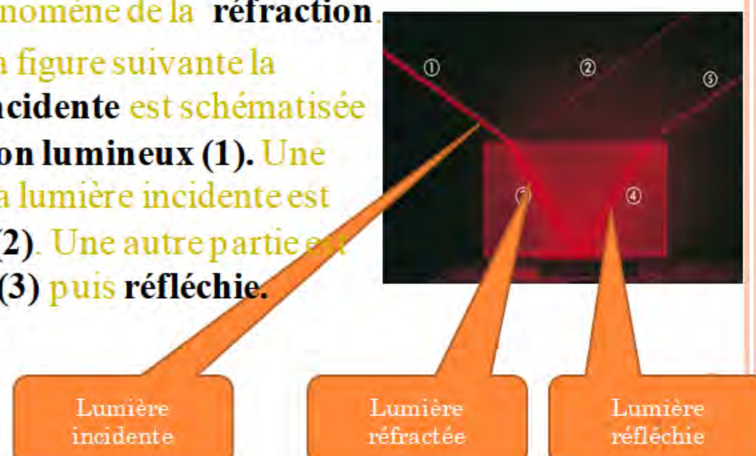


II.2 Interaction lumière-milieu transparent

Quand la lumière rencontre un milieu homogène et transparent on peut observer deux phénomènes.

- Le phénomène de la **réflexion.**
- Le phénomène de la **réfraction**.

Dans la figure suivante la **lumière incidente** est schématisée par le **rayon lumineux (1).** Une partie de la lumière incidente est **réfléchie (2)**. Une autre partie est **réfractée (3)** puis **réfléchie.**



II.2.1 RÉFLEXION, MIROIR PLAN.

On retrouve deux types de réflexion. La **réflexion spéculaire** et la **réflexion diffuse**.

- La réflexion **diffuse** se produit sur une **surface irrégulière**. Elle **ne produit pas d'image discernable**. C'est cependant cette sorte de réflexion qui **nous permet de voir** le monde qui nous entoure.
- La réflexion **spéculaire** se produit sur une surface **très lisse** (ex. : **miroir ou surface d'eau** très calme). Elle **produit une image discernable** d'un objet.

Réflexion totale :

Applications du phénomène de réflexion totale :

- fibres optiques « emprisonnant » un faisceau lumineux, utilisées pour les télécommunications.
- Endoscopie médicale





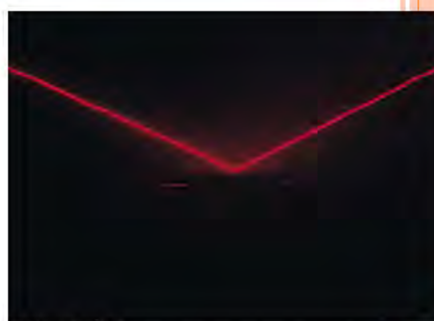


Réflexion spéculaire.

C'est une interaction **lumière-matière** qui conduit à une **déviation de la trajectoire** de la lumière du même côté du corps d'où elle est venue.

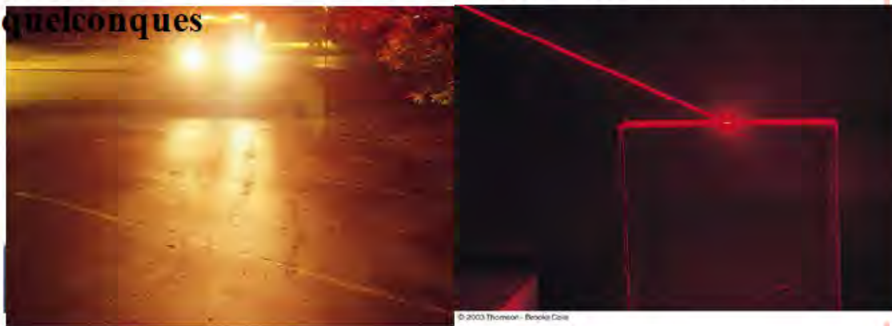
Après réflexion tous les **rayons lumineux réfléchis** sont **parallèles entre eux** les uns aux autres.





➢ Réflexion diffuse.

Lorsque la surface de la **cible n'est pas lisse (rugueuse)**, la lumière **est réfléchit dans des directions quelconques**

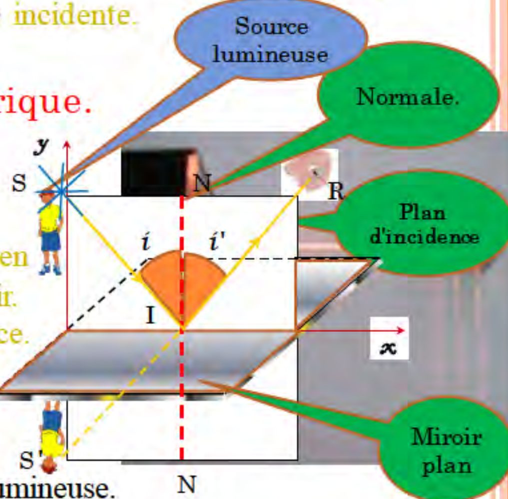


La réflexion **diffuse rend la route** facile à voir la nuit. Dans **la suite du cours**, on abordera **uniquement la réflexion spéculaire.**

II.2.1.1 Définition.

Le miroir est un **système optique** qui **réfléchit totalement** la lumière incidente.

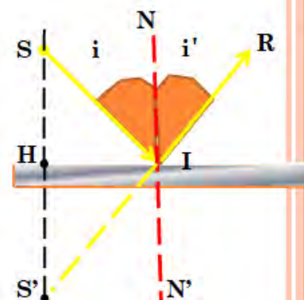
II.2.1.2 Aspect géométrique.



S: Est la source lumineuse elle joue le rôle d'objet.
I: Est le point d'incidence.
SI :Est le rayon lumineux inciden
NIN': Est la normale au miroir.
i (SIN): Est l'angle d'incidence.
IR: Est le rayon réfléchit.
i'(NIR): l'angle de réflexion.
S': Est l'image de la source lumineuse.

La direction du rayon lumineux émergeant **passe** toujours par **l'œil** de l'observateur et **l'image observée**.

- La normale est une ligne fictive perpendiculaire à la surface, Elle passe par le point d'incidence.
- Le rayon incident fait un angle i avec la normale
- Le rayon réfléchi fait un angle i' avec la normale.
- S' est l'image de S donnée par le miroir.

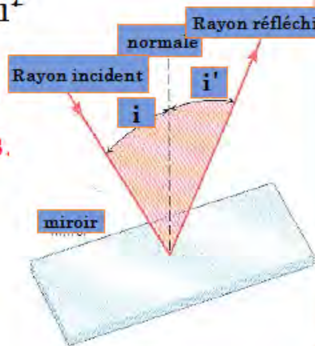


•**la première loi de la réflexion dit que**

L'angle de réflexion et l'angle d'incidence sont toujours égaux:
$i = i'$

• La deuxième loi de la réflexion dit que:

Le plan d'incidence et le plan de réflexion sont toujours confondus.



➢ Le plan d'incidence définit la position de l'objet.
➢ Et le plan de réflexion définit la position de l'observateur.

II.2.1.4 Caractéristiques de l'image donnée par un miroir plan.

L'image donnée par un miroir est caractérisée par sa **position** sa **nature** son **orientation** et sa **taille**.

II.2.1.4.1 Conditions et visibilité de l'image.

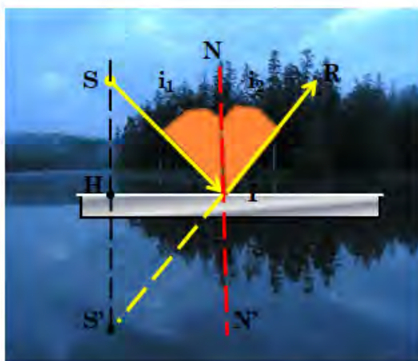
Ne pas confondre entre **l'existence** de l'image et la **visibilité** de l'image.

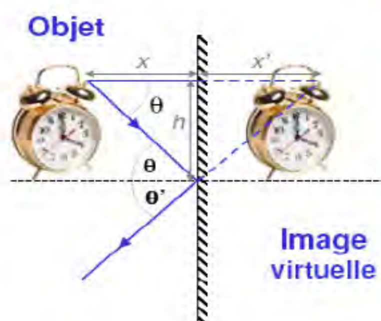
➢ **EXISTENCE**: Pour que l'image donnée par le miroir **existe** il faut **qu'il y'ait** au **moins** un rayon lumineux **issu** de l'objet et **réfléchit** par le **miroir**.

➢ **VISIBILITÉ**: Pour que cette image **soit vue** par l'observateur il faut que le rayon **lumineux réfléchit** par le miroir arrive à l'œil de l'observateur.

➢ L'image est toujours **située** sur le point **d'intersection** de la **normale** passant par **l'objet** et la **direction** du rayon lumineux **émergeant**.

II.2.1.4.2 Position de l'image.



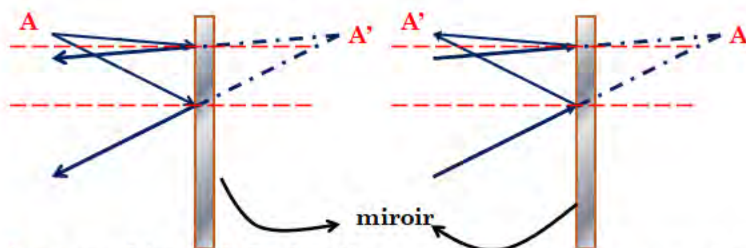


L'image donnée par réflexion plane est toujours symétrique de l'objet par rapport au miroir

$$HS = HS'$$

II.2.1.4.3 Nature de l'image.

L'image donnée par réflexion est toujours de nature différente de celle de l'objet.



A est un objet réel. La lumière incidente est divergente.
A' est une image virtuelle. La lumière émergente est divergente.

A est un objet virtuel. La lumière incidente est convergente.
A' est une image réelle. La lumière émergente est convergente.

II.2.1.4.4 Orientation de l'image.

L'image donnée par réflexion est toujours orientée dans le sens inverse de l'orientation de l'objet.

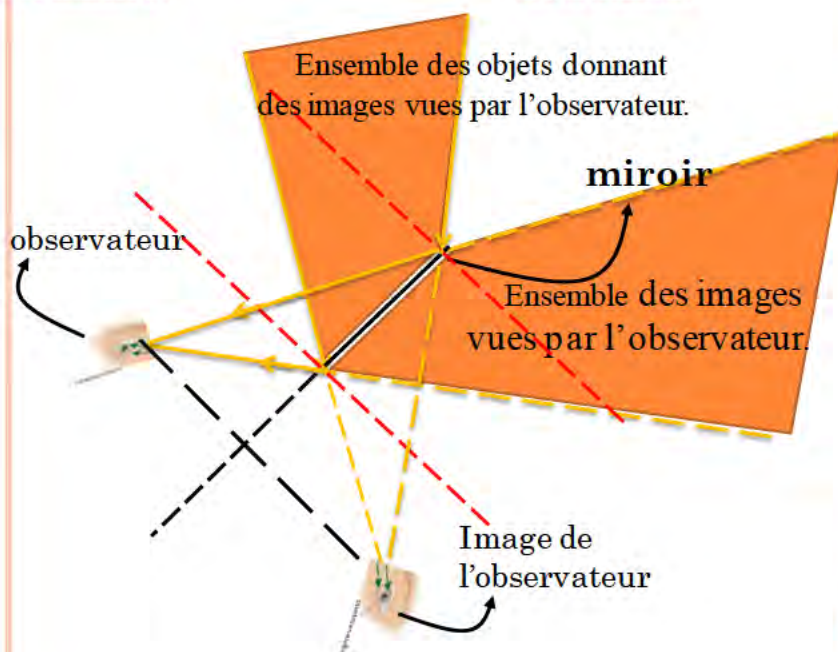


II.2.1.4.5. Taille de l'image.

Dans le cas du miroir plan: La taille de l'image est toujours de même grandeur que celle de l'objet.

II.2.1.5. Champ de vision et champ du miroir.

- L'image de l'objet est vue à travers le miroir si celle-ci se trouve dans le champ du miroir.
- Le champ du miroir est définit par la zone de l'espace délimitée par les directions des rayons lumineux limites, passant par les extrémités du miroir, et arrivant à l'œil de l'observateur.
- Le champ de vision est l'ensemble des objets, donnant des images vues par l'observateur à travers le miroir, il est appelé profondeur de champ.



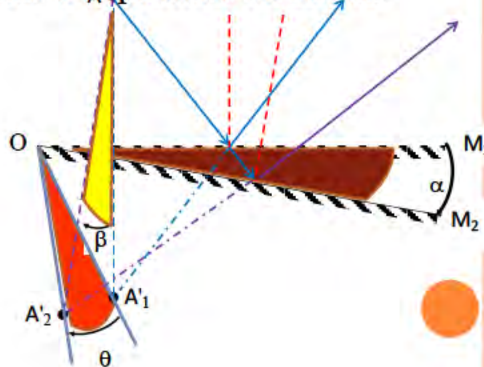
II.2.1.7. Rotation des miroirs.

Lorsque l'on fait tourner un miroir plan d'un angle (α) l'image subit deux rotations.

- La première (β) est définie par rapport à la position de l'objet.
- Et la seconde (θ) par rapport à la position du miroir.

On a l'angle $\beta=\alpha$.

Et l'angle $\theta=2\times\alpha$.



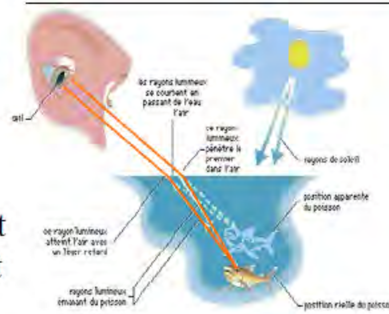
Chapitre II:

Interaction lumière milieux transparent

3. REFRACTION PLANE

II.3. Réfraction Plane, Dioptre Plan.

II.3.1 Définition.



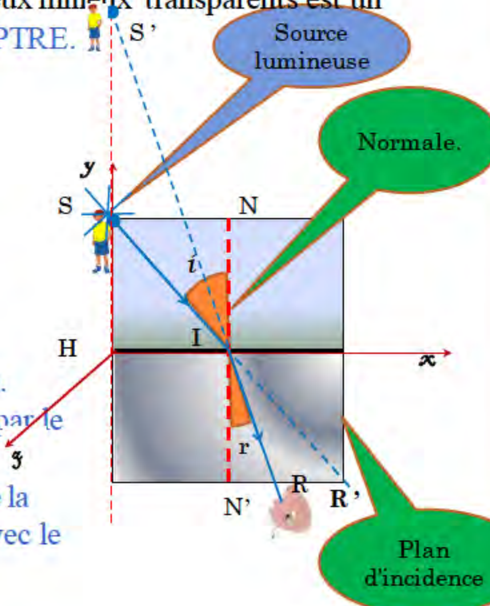
On appelle **réfraction** de la lumière le **changement de direction** que la lumière subi à la traversée d'une surface de séparation entre deux milieux transparents. La **réfraction** est le deuxième phénomène qui se produit lorsque le rayon lumineux interagit avec un **système optique**.

Le rayon lumineux incident **traverse** le deuxième milieu en **changeant** de direction

II.3.2 Aspect géométrique et définitions.

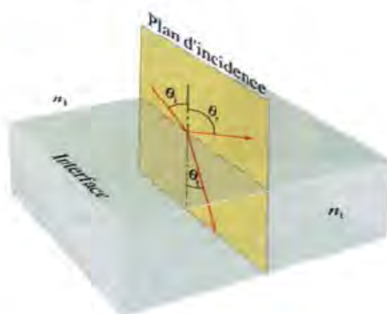
La surface qui sépare les deux milieux transparents est un système optique appelé DIOPTRE.

- S: Est la source lumineuse,
- I: Le point d'incidence,
- SI: Le rayon incident,
- NIN' :Normale au dioptre,
- i: Angle d'incidence.
- IR': La direction incidente,
- IR: Est le rayon réfracté,
- r: L'angle de réfraction.
- IS': Est la direction réfractée.
- S': Est l'image de S donnée par le dioptre,
- H: Le point d'intersection de la normale passant par l'objet avec le dioptre.



II.3.3 Lois de la Réfraction.

Il existe, aussi, deux lois qui régissent la réfraction de la lumière. Loi de la réfraction:

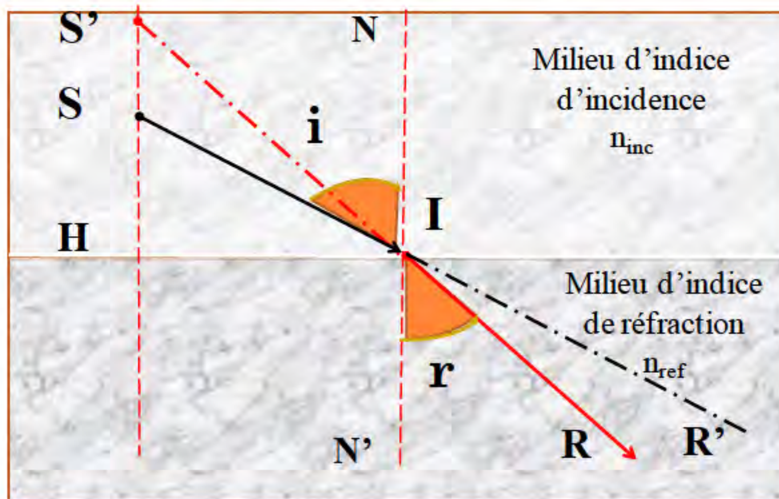


Comme dans le cas de la réflexion:

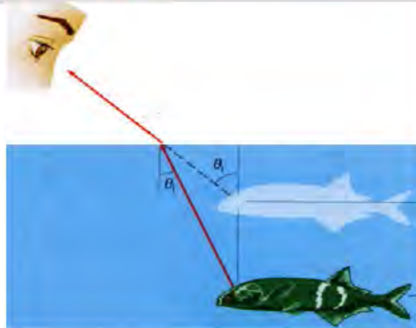
- la première loi de la réfraction dit que **le plan d'incidence** et le plan de **réfraction** sont **confondu**.
- La deuxième loi dite de Snell Descartes dit que:

$$n_{inc}\sin(i) = n_{ref}\sin(r)$$

$$n_{inc}\sin(i) = n_{ref}\sin(r)$$



La loi de **Snell Descartes** est conditionnée par la fonction sinus et les indices de réfraction. On retrouve deux situations différentes.

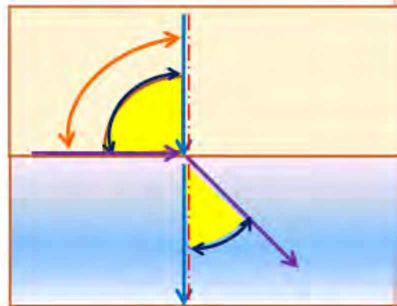


$$n_{inc}\sin(i) = n_{ref}\sin(r)$$

$$\sin(r) = \left(\frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right)\times(\sin(i)) \Rightarrow \begin{cases} \frac{n_{inc}}{n_{ref}} < 1 \\ \frac{n_{inc}}{n_{ref}} > 1 \end{cases} \quad et\ \sin(i) \leq 1$$

$$\begin{cases} \sin(r) = \left(\frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right)\times(\sin(i)) < 1 \\ \sin(r) = \left(\frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right)\times(\sin(i)) = 1 \\ \sin(r) = \left(\frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right)\times(\sin(i)) > 1 \end{cases}$$

II.3.4.1 Cas ou $n_{inc} < n_{ref}$.

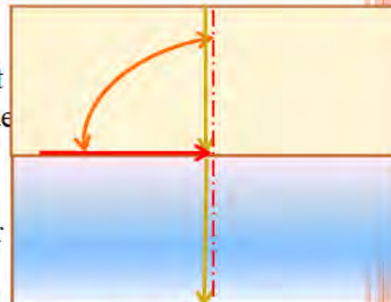


L'angle i est : $0 < i < 90°$.
L'angle r est conditionné par le rapport n_{inc}/n_{ref} ainsi que la fonction **sinus.**
Si $i = 0° \Rightarrow r = 0°$
Si $i_{max} = 90° \Rightarrow r = r_{max}$

$$\sin(r) = \frac{n_{inc}}{n_{ref}}\sin(i) \Rightarrow \quad r_{max} = \sin^{-1}\left[\frac{n_{inc}}{n_{ref}}\sin(i_{max})\right]$$

Le rayon lumineux issu de l'objet va-t-il être réfracté dans le deuxième milieu quelque soit son incidence?

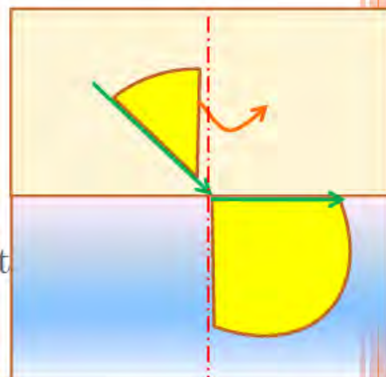
II.3.4.2 Cas ou $n_{inc} > n_{ref}$.



L'angle i est : $0 < i < 90°$.
Comme dans le cas précédent, l'angle r est conditionné par le rapport n_{inc}/n_{ref} ainsi que la fonction sinus.
Si $i = 0° \Rightarrow r = 0°$
Si $i_{max} = 90° \Rightarrow \sin(r) > 1$ impossible. Car la fonction sinus est toujours ≤ 1.

$$\sin(r) = \frac{n_{inc}}{n_{ref}}\sin(i)$$

$$\sin(r) = \frac{n_{inc}}{n_{ref}}\sin(i) \rangle 1 \Rightarrow \text{situation} \cdot \text{impossible.}$$



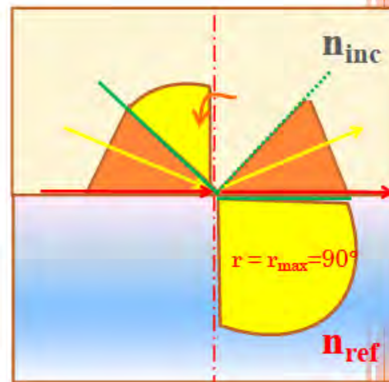
Pour résoudre le problème on fait un chemin inverse.
on pose $\sin(r_{max}) = 1 \Rightarrow$ l'angle $r_{max} = 90°$ et on déduit l'angle d'incidence i_{max} correspondant

$$\frac{n_{inc}}{n_{ref}} \times \sin(i) = 1$$

$$\sin(r_{max}) = 1 \Rightarrow \frac{n_{inc}}{n_{ref}}\sin(i_{max}) = 1 \Rightarrow \sin(i_{max}) = \frac{n_{ref}}{n_{inc}}$$

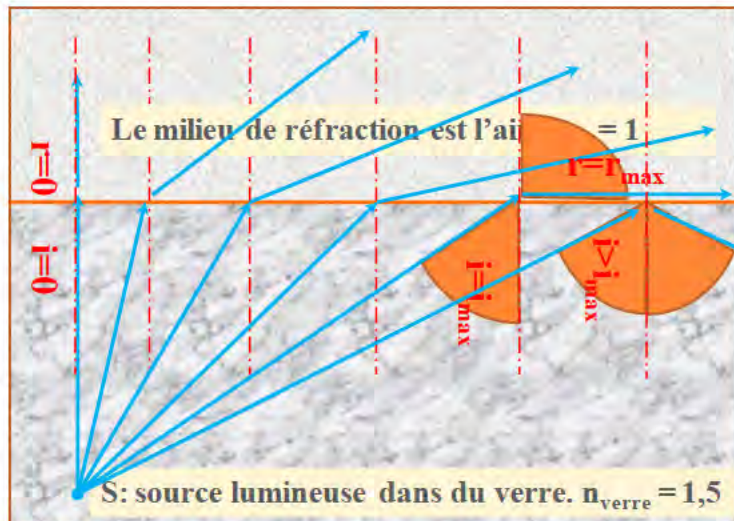
II.3.4.3. Réflexion totale.

Lorsque $n_{inc} > n_{ref}$ et que l'angle d'incidence $i > i_{max}$ ➔ $\sin(r) > 1$, cas impossible, le dioptre se comporte comme un miroir plan.



$$\sin(r) = \frac{n_{inc}}{n_{ref}} \sin(i) \geq 1$$

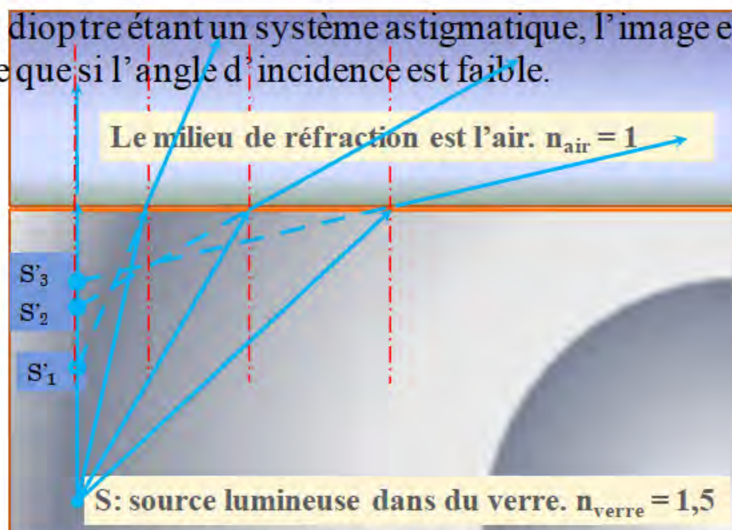
LA SIMULATION SUIVANTE PERMET DE COMPRENDRE LE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME.



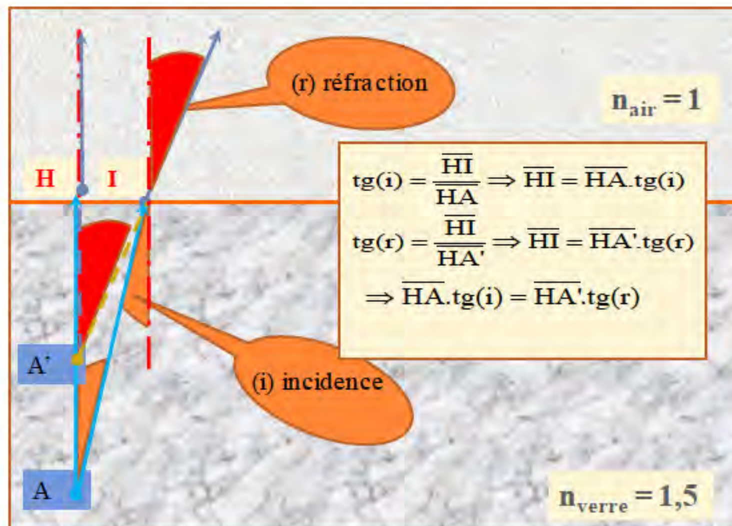
La réflexion est totale si les deux conditions sont satisfaites :
$n_{inc}>n_{ref}$ et que $i>i_{max}$

II.3.5 Caractéristiques de l'image donnée par réfraction.

Le dioptre étant un système astigmatique, l'image est nette que si l'angle d'incidence est faible.



L'image est située sur le point d'intersection de la normale passant par l'objet avec la direction du rayon lumineux réfracté.



Dans le cas des incidences faibles,
$tg(i) \cong sin(i)$ et $tg(r) \cong sin(r)$.

$$\overline{HA}.tg(i) = \overline{HA'}.tg(r) \Rightarrow \overline{HA}.\sin(i) = \overline{HA'}.\sin(r).$$

$$\Rightarrow \overline{HA'} = \overline{HA}.\frac{\sin(i)}{\sin(r)}$$

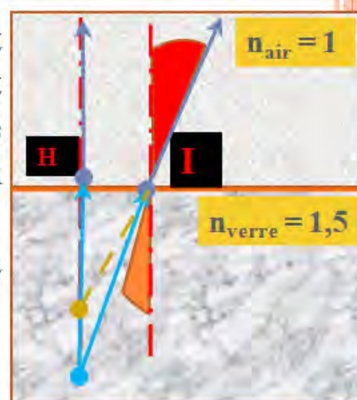
$$\Rightarrow \frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{n_{ref}}{n_{inc}}$$

$$\Rightarrow \overline{HA'} = \overline{HA}.\frac{n_{ref}}{n_{inc}}$$

II.3.5.2 Position de l'image.

L'image donnée par réfraction est toujours située sur le point d'intersection de la normale passant par l'objet avec la direction émergente.

Sa position est donnée par la relation de conjugaison:



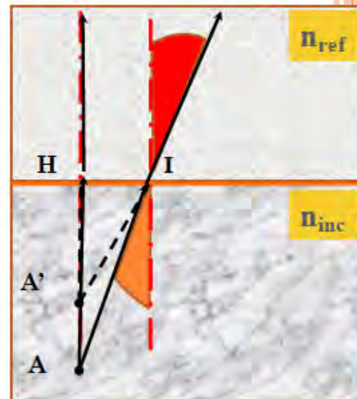
$$\overline{HA'} = \overline{HA}.\frac{n_{ref}}{n_{inc}}$$

II.3.5.3 Nature de l'image.

➢ Cas d'un objet réel.

La lumière incidente au système optique est divergente on définit un objet réel.

La lumière émergente du système optique est divergente on définit une image virtuelle.

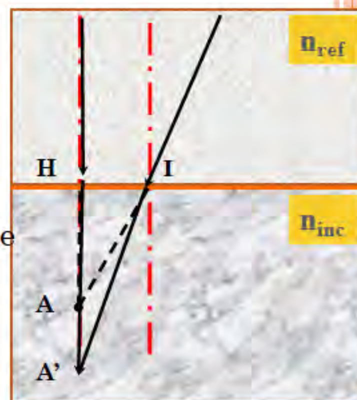


L'image est de nature différente de celle de l'objet.

➢ Cas d'un objet virtuel.

La lumière incidente au système optique est convergente on définit un objet virtuel.

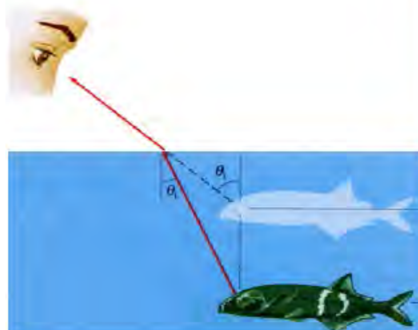
La lumière émergeante du système optique est convergente on définit une image réelle.



L'image est toujours de nature différente de celle de l'objet.

II.3.5.4 Orientation et taille de l'image.

L'image donnée par un dioptre plan est toujours de taille différente que celle de l'objet. Elle est orienté dans le même sens de l'objet.



II.3.6. Remarques.

Si $n_{inc} < n_{ref}$

- La réfraction est toujours possible.
- L'angle d'incidence est toujours : $0 \leq i \leq 90°$.
- L'angle de réfraction est toujours : $0 \leq r \leq r_{max}$.
- On déduit que $r < i$ et on dit que le rayon réfracté se rapproche de la normale.
- L'image donnée par le dioptre s'éloigne du système optique.
- Le poisson verra l'image du pécheur plus éloignée du système optique.

Si $n_{inc} > n_{ref}$

- La réfraction est conditionnée par : $i < i_{max}$.
- L'angle d'incidence est compris : $0 \leq i \leq i_{max}$.
- L'angle de réfraction est toujours : $0 \leq r \leq 90°$.
- On déduit que $r > i$ et on dit que le rayon réfracté s'éloigne de la normale.
- L'image donnée par le dioptre se rapproche du système optique.
- Le pécheur verra l'image du poisson plus proche.

II.3.7 Déviation du rayon lumineux

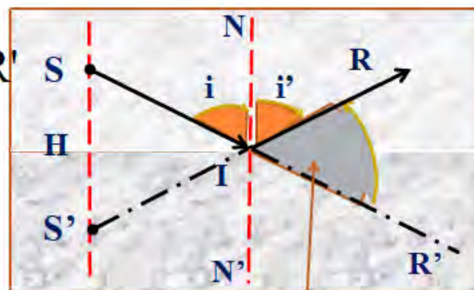
II.3.7.1. Définition.

Elle représente l'angle formé entre la direction incidente et la direction émergente du rayon lumineux.

II.3.7.2. Cas de la réflexion.

$SIR' = 180° = SIN + NIR + RIR'$

$\Rightarrow D = RIR' = 180° - 2i$

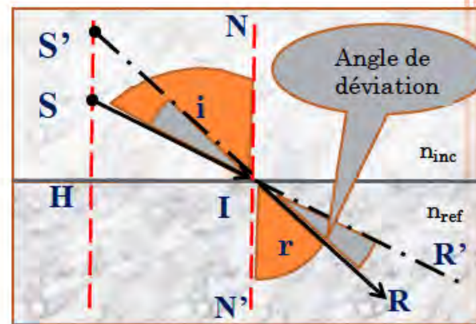


II.3.7.3. Cas de la réfraction.

Dans le cas de la réfraction, elle est définie par:

$D = i - r$ si $n_{inc} < n_{ref}$

$D = r - i$ si $n_{inc} > n_{ref}$

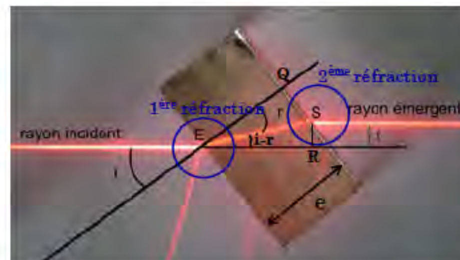


II.3.8. Applications des lois de réflexions et de réfractions.

II.3.8.1 Lames à faces parallèles.

II.3.8.1.1 Définition.

c'est un système optique délimité par deux dioptres parallèles. La lame ne peut être considérée comme lame à faces parallèles que si le milieu d'incidence et le milieu d'émergence du rayon lumineux soient le même.



II.3.8.1.2. Aspect géométrique.

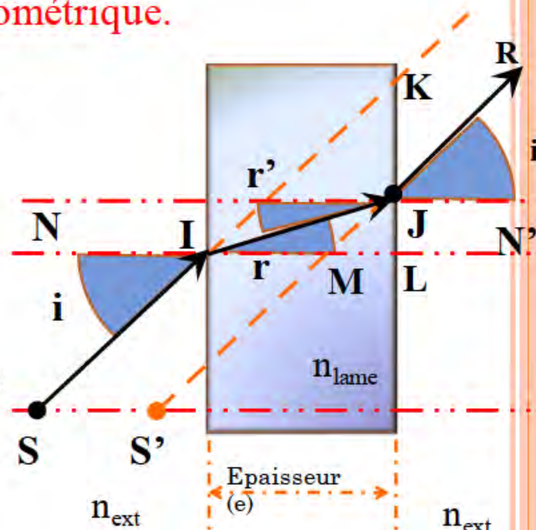
Sur la face d'incidence on a:

$n_{ext} \ \sin(i) = n_{lame} \ \sin(r)$

$r = r'$

Sur la face d'emergence on a:

$n_{lame} \ \sin(r') = n_{ext} \ \sin(i')$

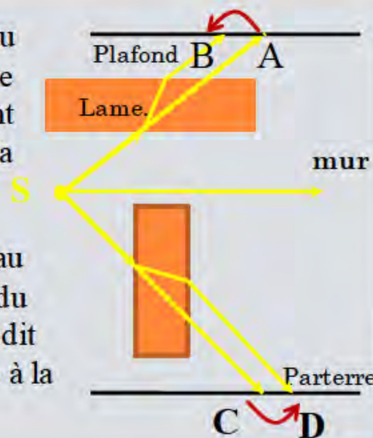


A la traversée d'une lame à face parallèle le rayon lumineux émergent subit deux réfractions. Sa direction est toujours parallèle au rayon lumineux incident.

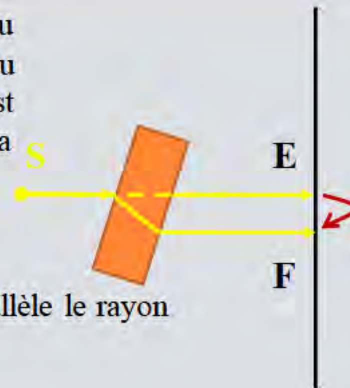
II.3.8.1.3 Différents Déplacements Du Rayon Lumineux.

- La lame placé parallèlement au plafond, la tache lumineuse se déplace du point A au point B. Ce déplacement est dit parallèle, AB est parallèle à la face de la lame..

- La lame placé perpendiculairement au parterre, la tache lumineuse se déplace du point C au point D. Ce déplacement est dit perpendiculaire, CD est perpendiculaire à la face de la lame..



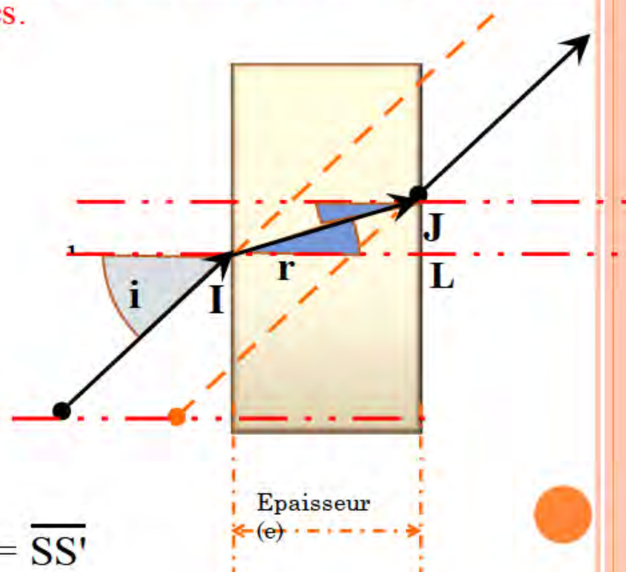
- La lame est placé latéralement au mur, la tache lumineuse se déplace du point E au point F. Ce déplacement est dit latéral, EF n'est pas parallèle à la face de la lame.



A la traversée d'une lame à faces parallèle le rayon lumineux subit trois déplacements.

a) Un déplacement parallèle.
b) Un déplacement perpendiculaire.
c) Un déplacement latéral.

II.3.8.1.4. Caractéristiques de l'image donnée par une lame à faces parallèles.



$$\overline{IM} = \overline{SS'}$$

$\overline{IM}$:

$$\overline{SS'} = \overline{IM} = e \times \left[1 - \frac{tg(r)}{tg(i)}\right] \Rightarrow \overline{SS'} = \overline{IM} = e \times \left[1 - \frac{\sin(r)}{\sin(i)}\right].$$

$$\Rightarrow \frac{\sin(r)}{\sin(i)} = \frac{n_{inc}}{n_{ref}}. \quad \Rightarrow \overline{SS'} = e \times \left[1 - \frac{n_{inc}}{n_{ref}}\right] = e \times \left[\frac{n_{ref} - n_{inc}}{n_{ref}}\right]$$

$$\overline{SS'} = e \times \left[\frac{n_{ref} - n_{inc}}{n_{ref}}\right]$$

II.3.8.1.4.2. Position de l'image.

Elle est située sur le point d'intersection de la normale passant par l'objet avec la direction émergeante.

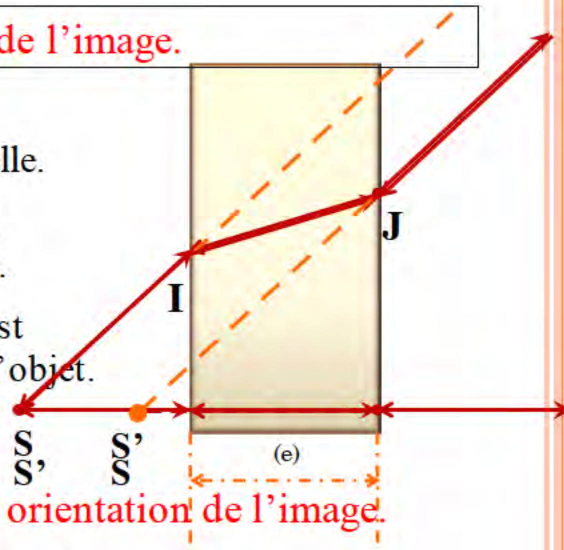
$$\overline{SS'} = e \times \left[\frac{n_{ref} - n_{inc}}{n_{ref}}\right]$$

II.3.8.1.4.3. Nature de l'image.

L'objet (S) est réel.
L'image (S')est virtuelle.

L'objet (S) est virtuel.
L'image (S') est réelle.

La nature de l'image est différente de celle de l'objet.



II.3.8.1.4.4.Taille et orientation de l'image.

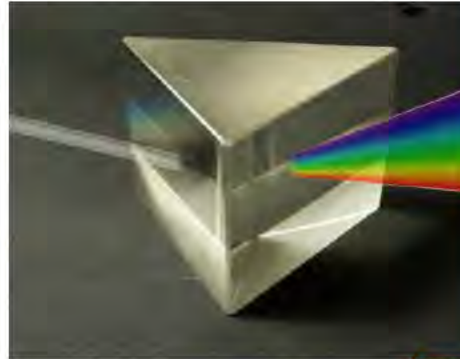
L'image est orientée dans le même sens de l'objet, elle est de même grandeur que l'objet.

II.3.8.2 Prisme.

II.3.8.2.1 Définition.

C'est un **système optique** (milieu homogène transparent) délimité par deux **dioptres** non parallèles.

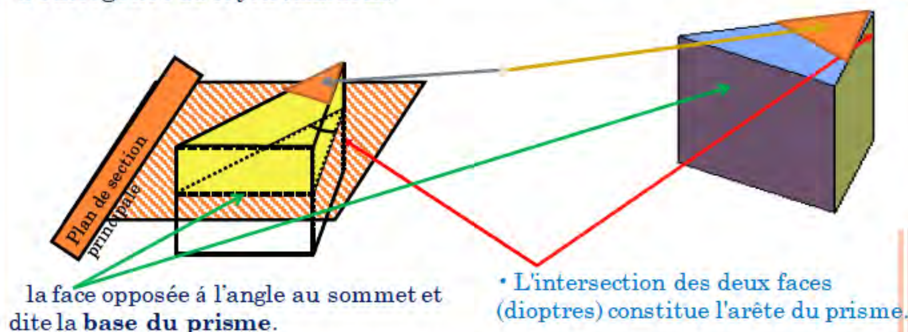
Il permet de **disperser** la lumière incidente, après sa traversée du prisme



La lumière **incidente** étant **poly chromatique**, i.e., blanche, (plusieurs couleurs), à l'émergence elle devient **mono chromatique** (une seule couleur).

II.3.8.2.2. Rôle et aspect géométrique.

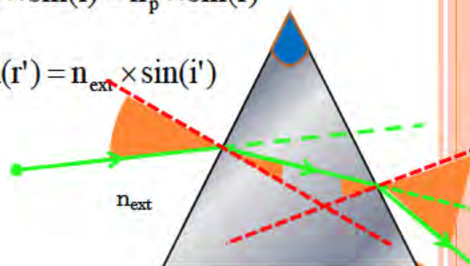
L'angle au **sommet** est l'angle formé par la face **d'incidence** et la face **d'émergence** du rayon lumineux.



Si le rayon lumineux arrive du coté de l'angle au sommet il est pris **négativement**, sinon, il est **positif**.

$$\text{sur la face d'incidence on a : } n_{ext} \times \sin(i) = n_p \times \sin(r)$$

$$\text{sur la face d'emergence on a : } n_p \times \sin(r') = n_{ext} \times \sin(i')$$



II.3.8.2.4. Relation entre les angles de réfractions interne.

Dans le triangle AIJ, on a:

$A + I + J = 180°$

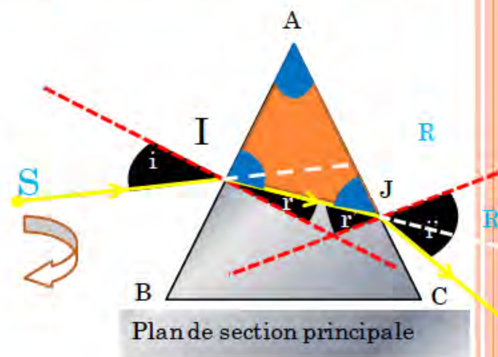
A: est l'angle au sommet du prisme.

$I = 90° - r$ et $J = 90° - r'$

→ $A + (90° - r) + (90° - r') = 180°$

$A + 180° - (r + r') = 180°$ (180° barrés)

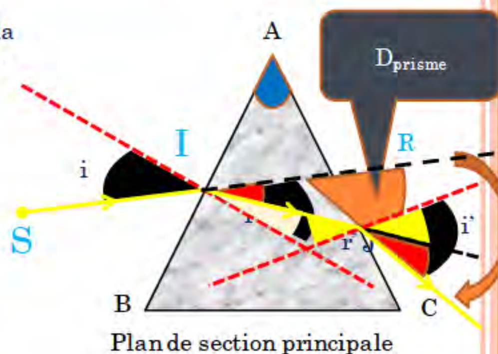
$$A = r + r'$$



II.3.8.2.5. Déviation du rayon lumineux.

II.3.8.2.5.1. Définition.

Elle représente **l'angle** formé par la **direction incidente** et la direction **émergente** du rayon lumineux.



$\mathbf{D_p = D_{AB} + D_{AC}}$

Avec $\mathbf{D_{AB} = i - r}$

Et $\mathbf{D_{AC} = i' - r'}$

On déduit que la déviation $\mathbf{D_p = (i - r) + (i' - r')}$

$\mathbf{D_p = (i + i') - (r + r')}$

Avec $\mathbf{r + r' = A}$**, on déduit que:**

$$D_p = i + i' - A$$

II.3.8.2.5.2. Relations fondamentales.

- Il existe quatre relations fondamentales du prisme qui permettent de calculer les quatre inconnues (i', r, r', D_p) en fonction des éléments connus (i, A, n_{ext} et n_p).

Sur la face AB: $n_{ext} \times \sin(i) = n_p \times \sin(r)$

Sur la face AC: $n_p \times \sin(r') = n_{ext} \times \sin(i')$

Relation des angles r et r': $\mathbf{A = r + r'}$

La déviation: $\mathbf{D_p = i + i' - A}$

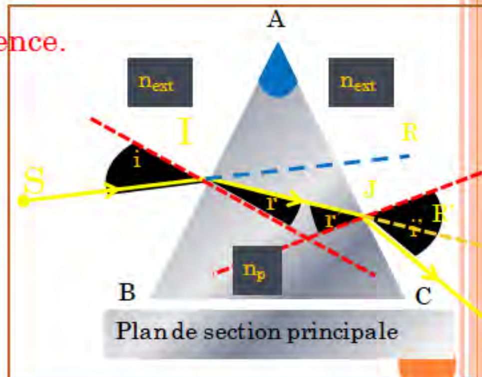
On en déduit par exemple la déviation $D_p(i, A, n)$.

II.3.8.2.6. Conditions d'utilisation du prisme.

Le rayon incident pénètre dans le prisme quelque soit l'angle d'incidence i, puisque $n_p > n_{ext}$. En revanche, le rayon émergent ne ressort du prisme que si la réfraction est possible.

Deux conditions doivent êtres satisfaites.

II.3.8.2.6.1. Condition d'incidence.



Sur le plan théorique on a:

Sur la face AB: $0 \leq i \leq 90°$.
Et $0 \leq r \leq \theta_l$.

Sur la face AC: $0 \leq r' \leq r'_{max} = \theta_l$.
Et $0 \leq i' \leq 90°$.

Sur la face d'émergence, $n_p \sin(r') = n_{ext} \sin(i')$

Lors de l'émergence rasante ($i' = 90°$) on a : $\sin(r') \leq n_{ext} / n_{prisme}$ d'où: $r' \leq \theta_l$.

Sachant que : $r' = (A - r) \leq \theta_l$ ⇒ $r \geq A - \theta_l$

⇒ **$\sin r \geq \sin(A - \theta_l)$: on multiplie les deux équations par n_p**

⇒ **$n_p \sin r \geq n_p \sin(A - \theta_l)$**

⇒ **$n_{ext} \sin(i) \geq n_{ext} \sin(i_0)$** ⇒ **$\sin i \geq \sin i_o$**

La condition correspondante pour l'angle d'incidence i constitue la première condition d'émergence :

$i_o < i < 90°$ avec $i_o = \arcsin[n_p \sin(A-\theta_l)]$

II.3.8.2.6.2. Condition d'émergence.

En plus de la première condition, il existe une autre condition a satisfaire pour que le rayon lumineux émerge du prisme.

Les angles de réfractions interne sur les deux faces sont:

$0 \leq r \leq \theta_l$.
+ $0 \leq r' \leq \theta_l$.

On faisant la somme des deux équations, on obtient:

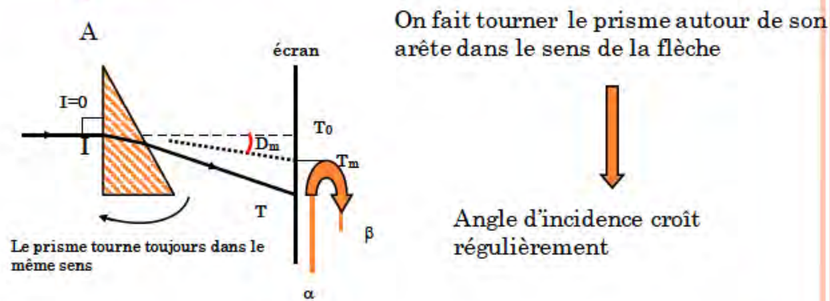
= **$0 \leq r + r' \leq 2 \times \theta_l$.**

On sait que $r + r' = A$, angle du prisme. On déduit que la première condition dite d'émergence est la suivante:

$A \leq 2 \times \theta_l$

II.3.8.2.6.3.. Étude de la déviation

Expérience



On fait tourner le prisme autour de son arête dans le sens de la flèche

Angle d'incidence croît régulièrement

La tache T se déplace sur l'écran suivant le trajet (α) puis reste un instant stationnaire en T_m pour se déplacer finalement en sens inverse suivant le trajet (β)

Conclusion : quand i varie, D décroît, passe par un minimum et croît ensuite

L'expérience montre qu'il existe une valeur i_{min} de l'angle d'incidence i qui rend la déviation D minimale.

Si $i = i_m$ ⟺ $D = D_{min}$ minimum de déviation

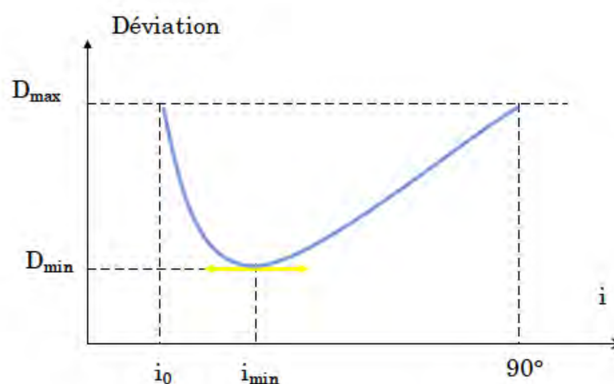
Après calculs, on montre que la déviation est minimale si :

$$r = r' = \frac{A}{2} \longrightarrow i = i' = i_{min} = \frac{A + D_{min}}{2}$$

$$n_p = \frac{n_{ext} \times \sin\left(\frac{A + D_{min}}{2}\right)}{\sin(\frac{A}{2})}$$

Remarque : au minimum de déviation le rayon lumineux a un parcours symétrique par rapport au plan bissecteur de l'angle du prisme (r=r' et i=i').

II.3.8.2.7.Variation de la déviation (D) en fonction de (i)



Chapitre III

Les lentilles sphériques minces

II.4. Lentilles minces.

II.4.1. Généralités.

- Une lentille mince consiste en une pièce de verre ou de plastique façonnée de telle sorte que chacune de ses deux surfaces réfractantes est soit une portion de sphère, soit un plan.

- Les lentilles sont couramment utilisées pour former des images par réfraction dans les instruments d'optique (caméra, microscope, etc.…).

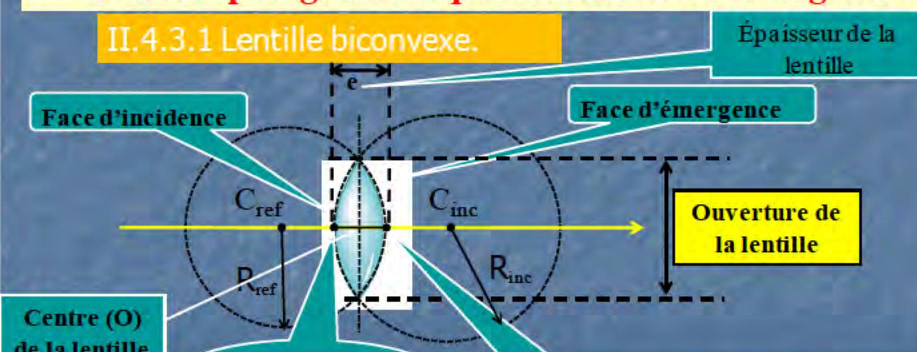
- Il existe deux type de lentilles minces, les lentilles minces convergentes et les lentilles minces divergentes.

II.4.2. Définition.

C'est un système optique délimité par deux dioptres dont l'un est sphérique. Il existe trois formes de lentilles minces convergentes et trois formes de lentilles minces divergentes

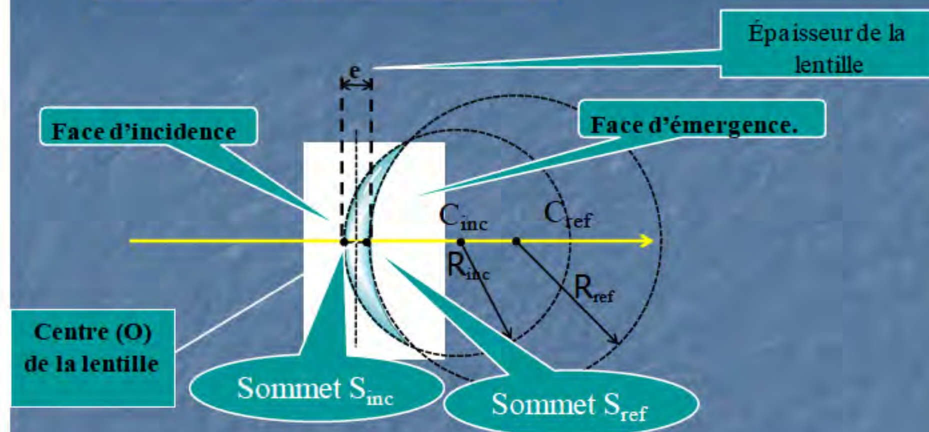
II.4.3. Aspect géométrique des lentilles convergentes.

II.4.3.1 Lentille biconvexe.

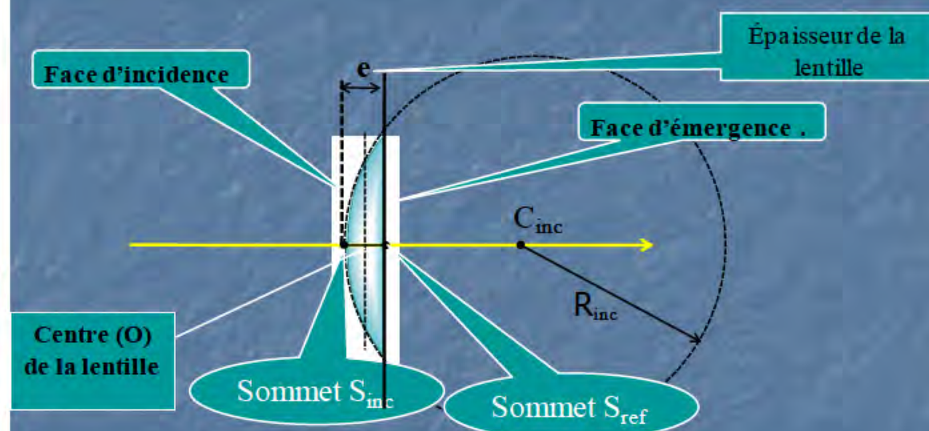


La lentille est dite mince si l'épaisseur e est négligeable devants les rayons de courbures R_{inc} et R_{ref}. Donc $S_{inc} \approx S_{ref} \approx O$

II.4.3.2 Ménisque convergent.



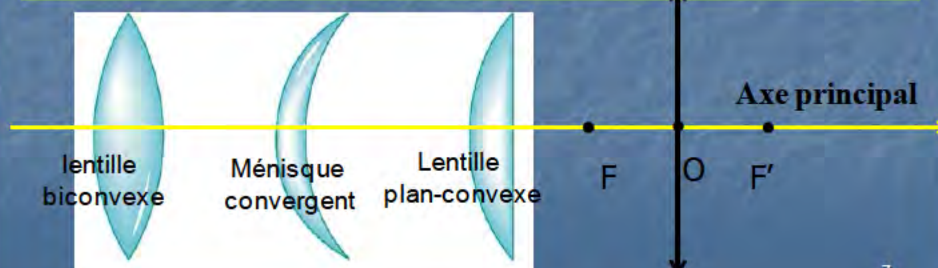
II.4.3.3 lentille plan-convexe.



II.4.4.Schématisation des lentilles convergentes.

Les trois formes précédentes des lentilles sont convergentes, elles sont schématisées par:

- **Un axe principal qui représente le sens de propagation de la lumière. Cet axe est toujours orienté.**
- **Un centre optique (O), les sommets S_{inc} et S_{ref} sont confondus.**
- **Une lentille convergente, c'est un segment de droite orienté.**
- **Le foyer principal image (F') et le foyer principal objet (F).**
- **Ces lentilles sont convergentes, elles sont dites à bords minces.**



15/02/2015

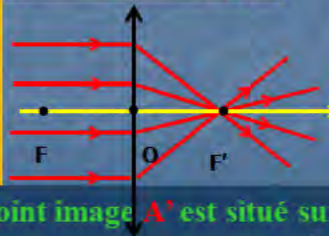
II.4.4.1. Foyers principaux et distances focales.

II.4.4.1.1. Remarques préliminaires.

- Les rayons parallèles incidents sur un système optique sont considérés comme issus d'un point situé à l'infini. En particulier, tous les rayons parallèles à l'axe principal peuvent être considérés comme provenant d'un objet à l'infini sur l'axe principal.
- Le terme "à l'infini" indique, dans la pratique, une distance très grande devant toutes les dimensions caractéristiques du système optique.

II.4.4.1.2. Définition du foyer principal image.

Le point de convergence de la lumière émergente, arrivant parallèlement à l'axe optique définit le foyer principal image.



Le point objet A est rejeté à l'infini, le point image A' est situé sur le foyer principal image (F').

8

15/02/2015

II.4.4.1.3. Définition du foyer principal objet.

Le point de divergence de la lumière incidente, qui émerge parallèlement à l'axe optique, définit le foyer principal objet.



Le point objet A est placé sur le foyer principal objet (F), le point image A' est rejeté à l'infini.

II.4.4.2. Foyers secondaires.

II.4.4.2.1 Définition de l'axe secondaire.

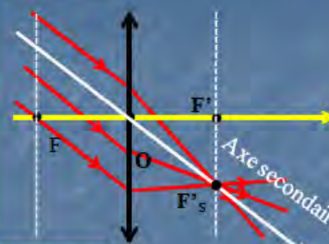
Tous axe passant par le centre optique (O) est dit axe secondaire, il existe une infinité d'axe secondaire.

9

15/02/2015

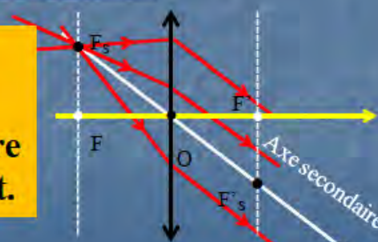
II.4.4.2.2 Foyer secondaire image.

Le point de convergence de la lumière émergente, arrivant parallèlement à l'axe secondaire définit le foyer secondaire image.



II.4.4.2.3 Foyer secondaire objet.

Le point de divergence de la lumière incidente, émergente parallèlement à l'axe secondaire définit le foyer secondaire objet.



10

15/02/2015

II.4.4.3. Plans focaux.

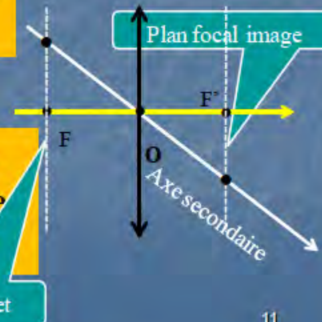
Il existe deux plans focaux, ils représentent l'ensemble des foyers de la lentille.

II.4.4.3.1 Plan focal objet.

L'ensemble des foyers secondaires objets définissent le plan focal objet.

II.4.4.3.2 Plan focal image.

L'ensemble des foyers secondaires images définissent le plan focal image.

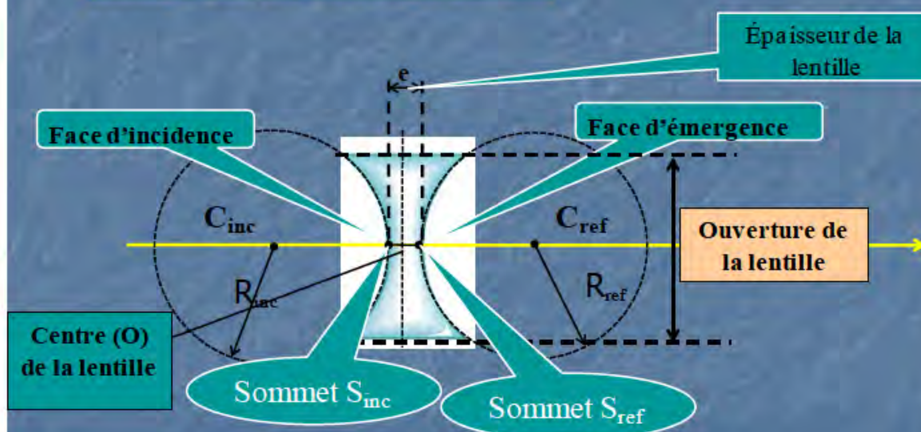


11

II.4.5 Aspect géométrique des lentilles divergentes.

15/02/2015

II.4.5.1 Lentille biconcave.

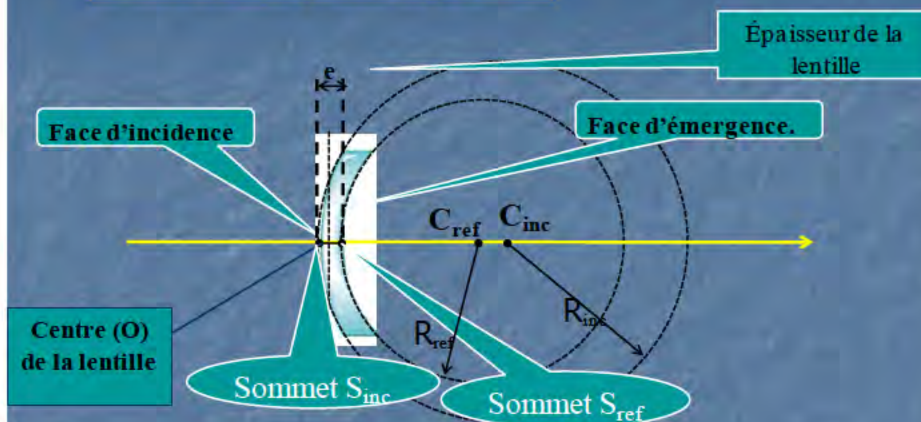


La lentille est dite mince si l'épaisseur e est négligeable devants les rayons de courbures R_{inc} et R_{ref}. Donc $S_{inc} \approx S_{ref} \approx O$

12

15/02/2015

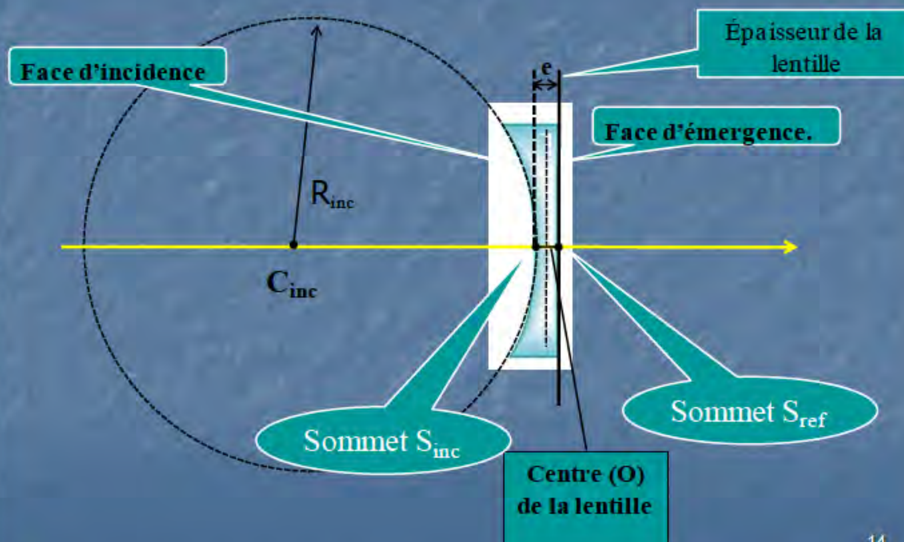
II.4.5.2 Ménisque divergent.



13

15/02/2015

II.4.5.3 lentille plan-concave



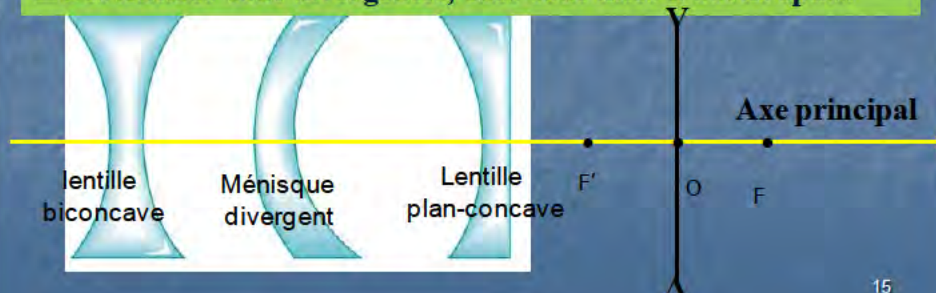
14

15/02/2015

II.4.6. Schématisation des lentilles divergentes.

Les trois formes précédentes des lentilles sont divergentes, elles sont schématisées par:

- Un axe principal qui représente le sens de propagation de la lumière. Cet axe est toujours orienté.
- Un centre optique (O), les sommets S_{inc} et S_{ref} sont confondus.
- Une lentille divergente, c'est un segment de droite orienté.
- Le foyer principal image (F') et le foyer principal objet (F).
- Ces lentilles sont divergentes, elles sont dites à bords épais.



15

15/02/2015

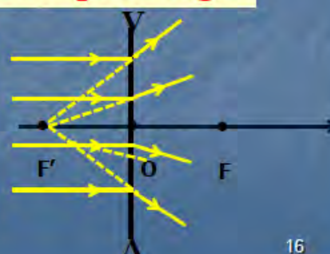
II.4.6.1. Foyers principaux et distances focales.

II.4.6.1.1. Remarques préliminaires.

- Les rayons parallèles incidents sur un système optique sont considérés comme issus d'un point situé à l'infini. En particulier, tous les rayons parallèles à l'axe principal peuvent être considérés comme provenant d'un objet à l'infini sur l'axe principal.
  - Le terme "à l'infini" indique, dans la pratique, une distance très grande devant toutes les dimensions caractéristiques du système optique.

II.4.6.1.2. Définition du foyer principal image.

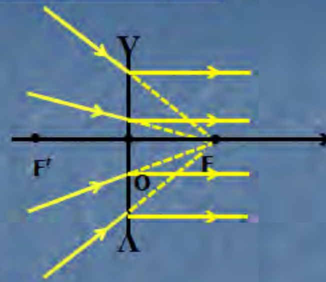
Le point de divergence de la lumière émergente, arrivant parallèlement à l'axe optique définit le foyer principal image.



16

II.4.6.1.3. Définition du foyer principal objet.

Le point de convergence de la lumière incidente, émergente parallèlement à l'axe optique, définit le foyer principal objet.



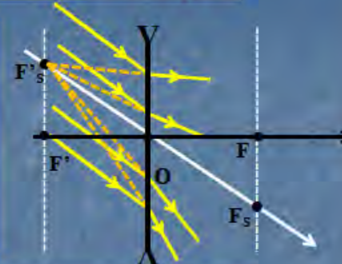
II.4.6.2. Foyers secondaires.

II.4.6.2.1 Définition de l'axe secondaire.

Tous axe passant par le centre optique (O) est dit axe secondaire, il existe une infinité d'axe secondaire.

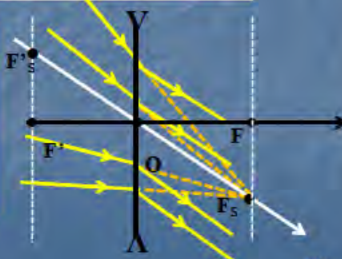
II.4.6.2.2 Définition du foyer secondaire image.

Le point de divergence de la lumière émergente, arrivant parallèlement à l'axe secondaire définit le foyer secondaire image.



II.4.6.2.3 Définition du foyer secondaire objet.

Le point de convergence de la lumière incidente, émergente parallèlement à l'axe secondaire définit le foyer secondaire objet.



II.4.6.3. Plans focaux.

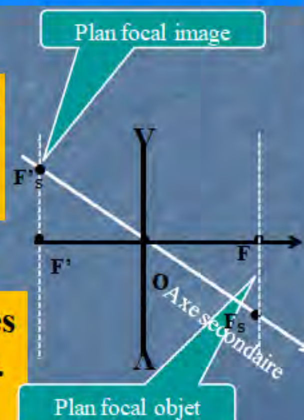
Il existe deux plans focaux, ils représentent l'ensemble des foyers de la lentille.

II.4.6.3.1 Plan focal objet.

L'ensemble des foyers secondaires objets définissent le plan focal objet.

II.4.6.3.2 Plan focal image.

Et l'ensemble des foyers secondaires images définissent le plan focal image.



15/02/2015

II.4.6.4. Remarques.

- Pour les deux types de lentilles, la position des foyers est symétrique par rapport au centre optique O de la lentille: $|\overline{OF'}| = |\overline{OF}|$
- la distance focale est donnée par:

$$C = \frac{1}{\overline{OF'}} = \left[\frac{n_{lentille}}{n_{exterieur}} - 1\right]\left[\frac{1}{R_{inc}} - \frac{1}{R_{emer}}\right]$$

- C est dite la vergence de la lentille.
- → lentille convergente $\overline{OF} < 0$ et $\overline{OF'} > 0$
- → lentille divergente $\overline{OF} > 0$ et $\overline{OF'} < 0$

Tout rayon passant par le centre optique O ne subit aucune déviation

20

15/02/2015

II.4.7 Caractéristiques de l'image.

L'image donnée par une lentille mince est caractérisée par sa position, sa nature, sa taille ainsi que son orientation.

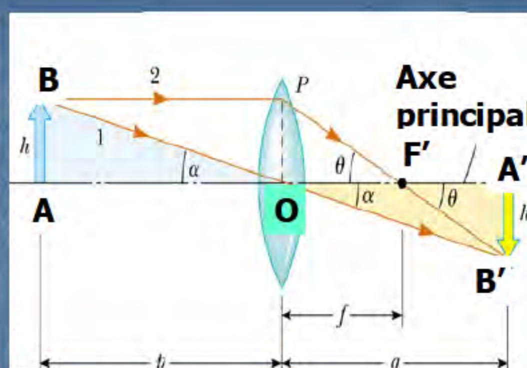
II.4.7.1. Position de l'image, relation de conjugaison.

La position de l'image donnée par une lentille mince dépend de la position de l'objet ainsi que de la nature de celle-ci.

21

15/02/2015

$$tg\theta = \frac{\overline{OP}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'F'}}$$



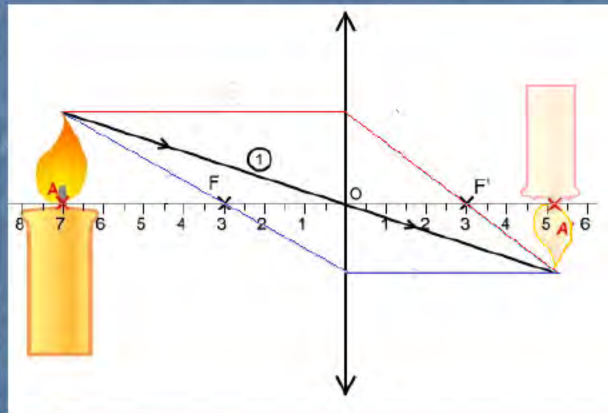
$$\frac{\overline{AB}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'O} + \overline{OF'}}$$

⇓

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'O} + \overline{OF'}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \Rightarrow \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = 1 - \frac{\overline{OA'}}{\overline{OF'}}$$

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} = -\frac{1}{\overline{OF}}$$

22



II.4.7.2. Nature de l'image.

L'image donnée par une lentille mince peut être réelle ou virtuelle.

II.4.7.1. Orientation et taille de l'image.

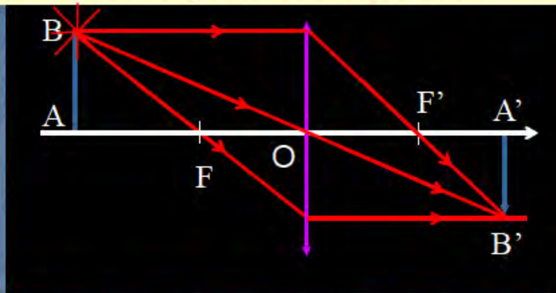
La taille de l'image donnée par une lentille est différente de celle de l'objet. Elle est peut être droite ou renversée.

II.4.8. construction géométrique des images.

- **Utilisation de 2 rayons particuliers simples (sur 3 possibles)**

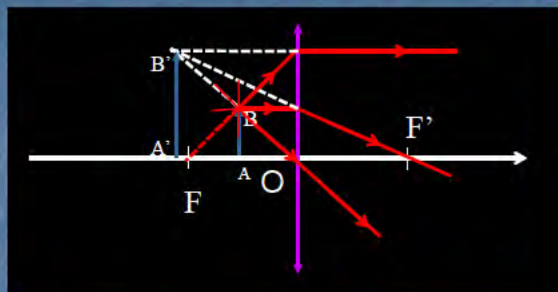
- ☐ **Un rayon lumineux parallèle à l'axe principal passe par (ou semble venir de) un des foyers.**
- ☐ **Un rayon qui passe par le centre optique O de la lentille qui n'est pas dévié**
- ☐ **Un rayon qui passe par le foyer objet de la lentille, émerge de la lentille parallèlement à l'axe principal**

II.4.8.1. Exemples de lentilles convergente
A- objet réel image réelle.



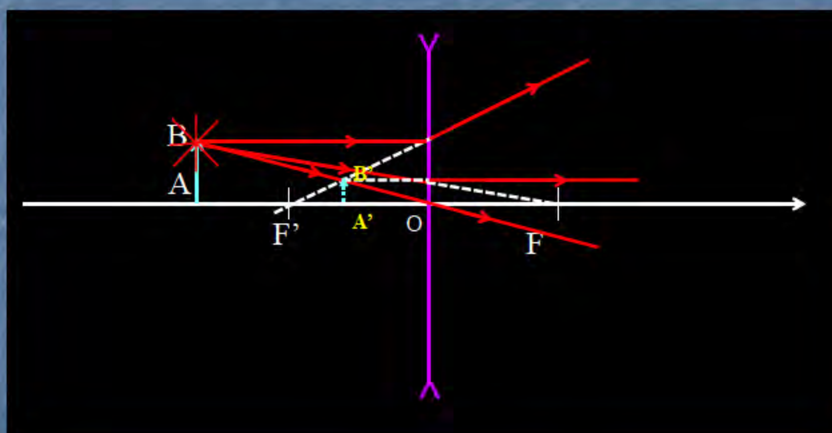
L'image est réelle, renversée elle peut être plus grande ou plus petite

B- Objet réel image virtuelle.



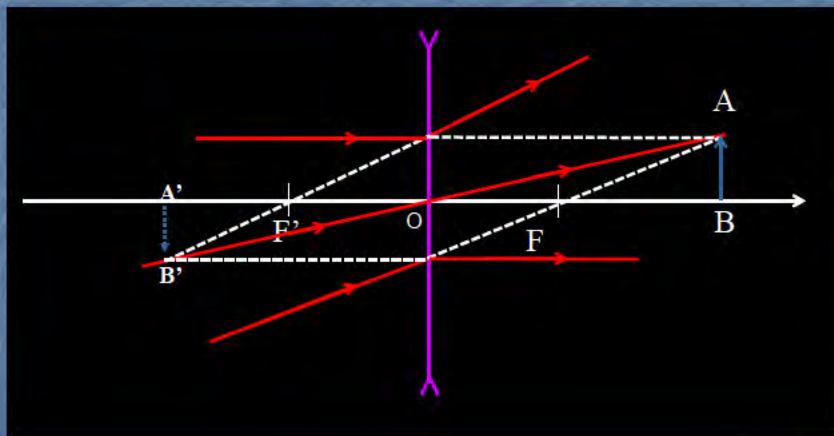
L'image est virtuelle droite.

II.4.8.2. Exemples de lentilles divergentes
A- Objet réel, Image Virtuelle droite.



15/02/2015

II.4.8.2. Exemples de lentilles divergentes
B- Objet Virtuel, Image Virtuelle renversée.

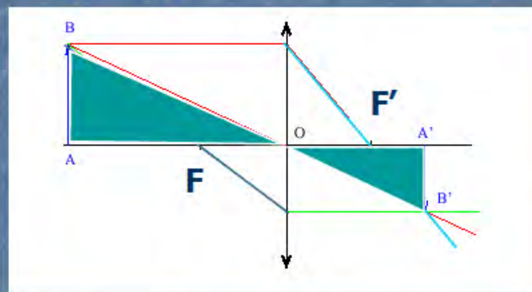


29

15/02/2015

Calcul du grandissement γ

C 'est le rapport $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$



3O) et (A'B'O) sont

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

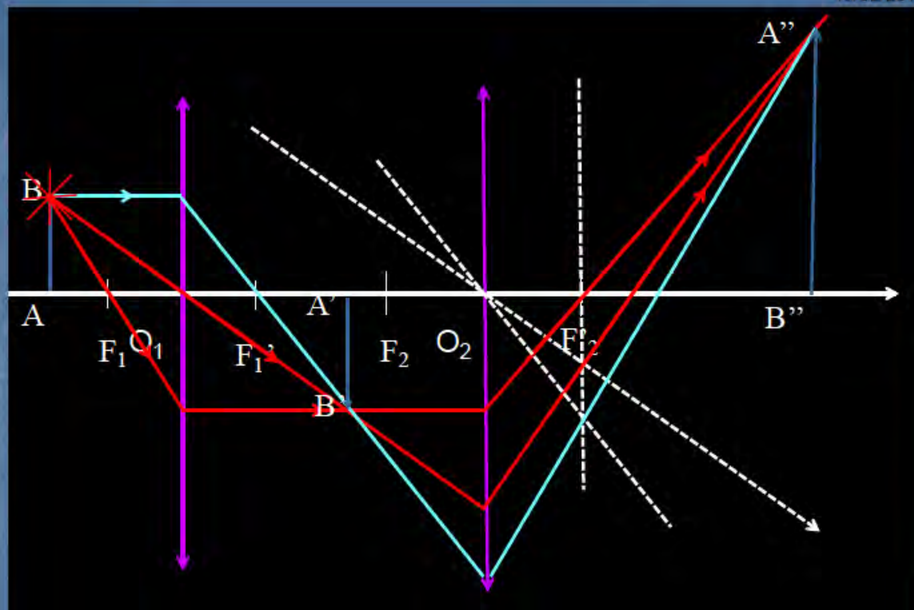
30

15/02/2015

Association de lentilles minces

- Le point principal dont il faut se souvenir est que l'image produite par la première lentille sert d'objet pour la seconde.
- Le grandissement total d'une combinaison de lentilles est le produit des grandissements des lentilles
- $\gamma_{total} = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 \ldots$
- La vergence équivalente est $c_{equ} = \sum c_i$

31



Zones conjuguées

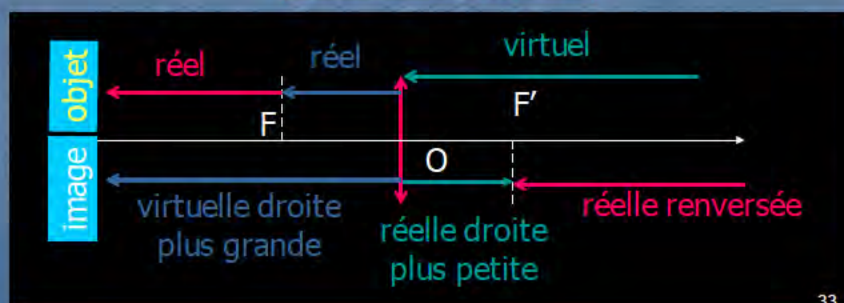
Position de l 'objet

Position de l'image et grandissement

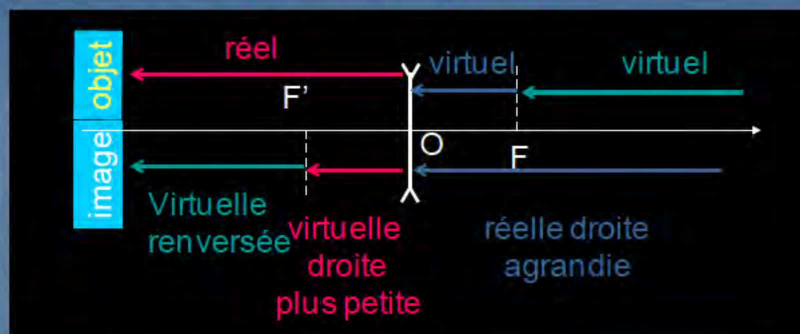
Formules de conjugaison

On peut établir des correspondances entre les zones d'espace objet et image. → Zones conjuguées

Lentille convergente



Lentille divergente



Les représentations précédentes démontrent les propriétés suivantes :

- L'image d'un objet virtuel donnée par une lentille convergente est toujours réelle (et plus petite).
- L'image d'un objet réel donnée par une lentille divergente est toujours virtuelle.

Chapitre 5
La vision.

5.1 Anatomie et définitions

5.1.1 Description anatomique.

L'œil est l'organe de vision, considéré comme un système optique complexe.

On distingue trois types de membranes oculaires:

La **sclérotique** est une membrane externe protectrice qui forme le blanc de l'œil.

Elle se fond avec la **cornée** à lavant de l'œil.



Cornée.

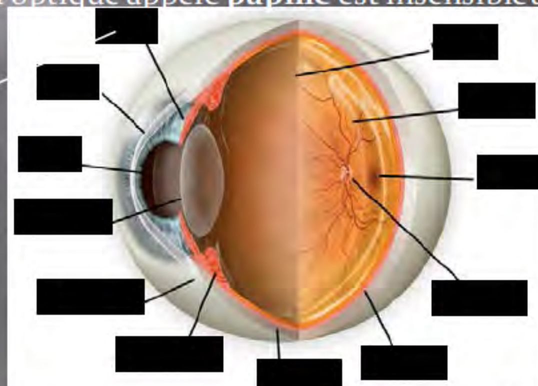
Sclérotique.

La **choroïde** membrane qui contient les **pigments** et les **vaisseaux** est située sous la **sclérotique**, elle se termine par **l'iris** qui détermine la couleur de l'œil.

La **rétine** membrane plus interne est constituée de **cellules sensibles** à la lumière, ces cellules transmettent la lumière au **nerf optique** sous forme de signal nerveux.

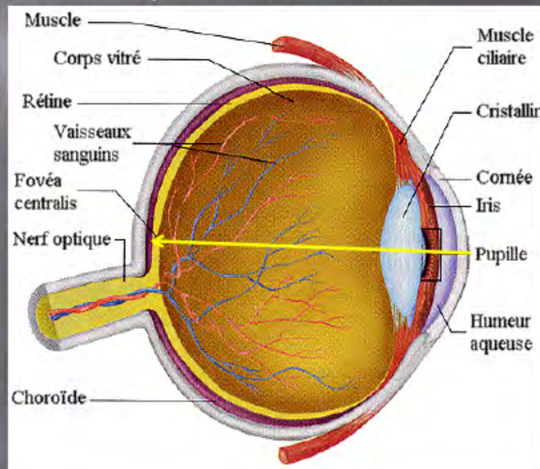
Le point d'entrée du nerf optique appelé **papille** est insensible à la lumière.



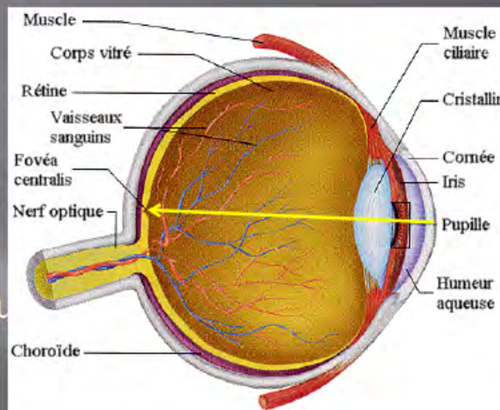


De l'extérieur vers l'intérieur, la lumière traverse :

- **La cornée transparente**: c'est une membrane résistante et dure d'épaisseur 1 mm et d'indice de réfraction de 1,35.
- **L'humeur aqueuse:** c'est un liquide clair d'indice de réfraction 1,33 traversé par la lumière sur une épaisseur de 4 mm.
- **Le cristallin**: joue le rôle d'une lentille convergente, son rayon de courbure est variable grâce à son élasticité. Son épaisseur moyenne est de 4 mm et son indice de réfraction est de 1,45.



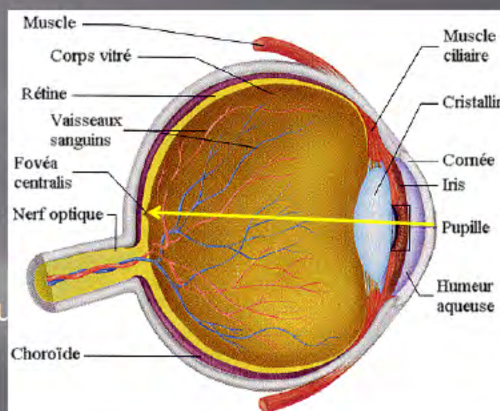
- **L'humeur vitrée** : est une substance gélatineuse, d'indice de réfraction 1,33 traversé par la lumière sur une épaisseur de 15 mm.
- **La rétine:** membrane transparente très mince (0,5 mm), elle forme sur le fond du globe oculaire un véritable écran, qui reçoit les images des objets examinés.



- **L'iris:** de couleur divers selon les sujets, il constitue une cloison circulaire au centre duquel se trouve une petite ouverture appelé la **pupille**.
- **La pupille**: est un véritable régulateur de l'intensité lumineuse qui pénètre dans l'œil. L'ouverture de la pupille **augmente** si l'intensité lumineuse **diminue**.

6

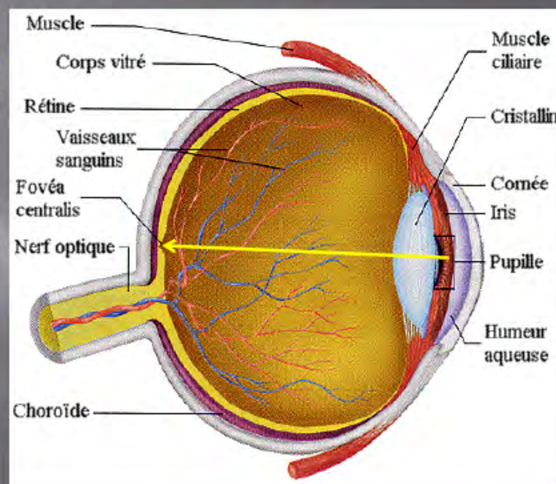
- **L'humeur vitrée** : est une substance gélatineuse, d'indice de réfraction 1,33 traversé par la lumière sur une épaisseur de 15 mm.
- **La rétine:** membrane transparente très mince (0,5 mm), elle forme sur le fond du globe oculaire un véritable écran, qui reçoit les images des objets examinés.



- **L'iris:** de couleur divers selon les sujets, il constitue une cloison circulaire au centre duquel se trouve une petite ouverture appelé la **pupille**.
- **La pupille**: est un véritable régulateur de l'intensité lumineuse qui pénètre dans l'œil. L'ouverture de la pupille **augmente** si l'intensité lumineuse **diminue**.

6

➢En fin sur l'axe commun à l'ensemble des dioptres sphériques se trouve le centre **C** du globe oculaire



L'ensemble de tous ces dioptres sphériques se comportent comme une lentille **convergente particulière**.

7

5.1.2 Schématisation de l'œil réduit

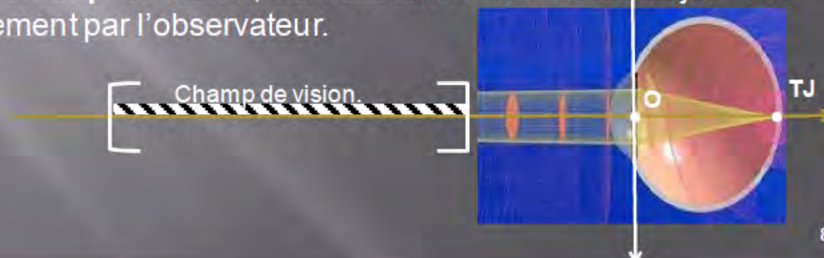
L'ensemble des dioptres sphériques que forment l'œil définissent l'**œil réduit**, il est schématisé par:

➢**Un axe principal**: il représente le sens de propagation de la lumière, il est dit axe optique ou visuel.

➢**Une lentille convergente**, de distance focale variable, de centre optique **(O)**.

➢**La tache jaune (TJ)**, position de toutes les images de tous les objets observés.

➢**Le champ de vision**, est l'ensemble de tous les objets vus nettement par l'observateur.



8

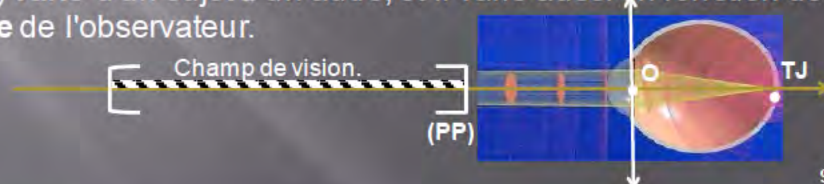
5.2 Caractéristiques de l'œil réduit.

5.2.1 Champ de vision de l'œil réduit.

Le champ de vision est l'ensemble de tous les objets que peut voir nettement l'observateur. Il est délimité par deux positions extrêmes. Le **Punctum Proximum**, et le **Punctum Remotum.**

5.2.1.1 Le Punctum Proximum.

La position du point objet le **plus proche** que peut voir le sujet nettement est appelé **Punctum Proximum**. La vision de ces objets proches se fait avec **fatigue** de l'œil. Ce point objet noté (**PP**) **varie** d'un sujet à un autre, et il varie aussi en fonction de **l'âge** de l'observateur.



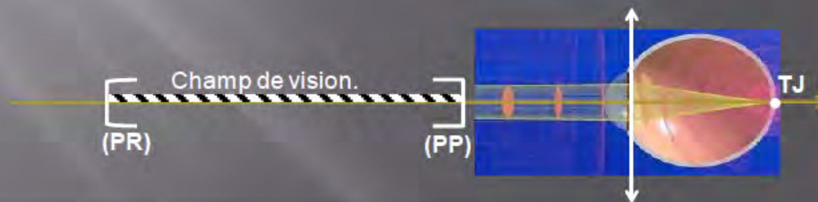
9

5.2.1.2 Le Punctum Remotum.

Le point objet le **plus éloigné** que peut voir le sujet nettement est appelé **Punctum Remotum**. La vision de ces objets éloignés se fait **sans fatigue** de l'œil. Ce point objet noté (**PR**) **varie** d'un sujet à un autre.

5.2.2 Puissance de l'œil réduit.

On définit la puissance, notée **(P)**, de l'œil par: $P = \frac{1}{\overline{OPR}}$

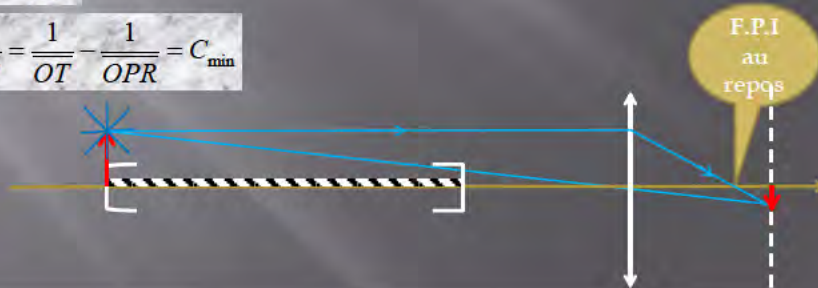


5.2.3 Accommodation.

$$\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}$$

$$\overline{OA} = \overline{OPR}$$
$$\overline{OA'} = \overline{OT}$$

$$\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OT}} - \frac{1}{\overline{OPR}} = C_{\min}$$



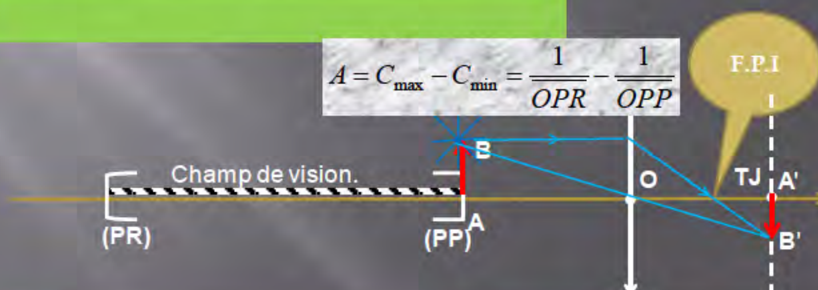
5.2.3.2 Vision au PP.

L'image formée étant toujours réelle, renversée, de taille plus petite que l'objet est située sur la rétine (tache jaune).

$$\overline{OA} = \overline{OPP}$$
$$\overline{OA'} = \overline{OT}$$

$$\frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OT}} - \frac{1}{\overline{OPP}} = C_{\max}$$

$$A = C_{\max} - C_{\min} = \frac{1}{\overline{OPR}} - \frac{1}{\overline{OPP}}$$



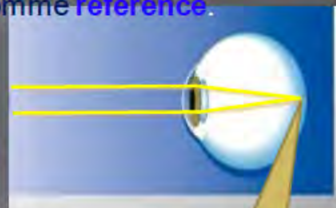
$$\frac{1}{\overline{OF'}}=\frac{1}{\overline{OA'}}-\frac{1}{\overline{OA}}\Rightarrow\frac{1}{\overline{OT}}=\frac{1}{\overline{OF'}}+\frac{1}{\overline{OA}}=cst$$

$$\frac{1}{\overline{OF'}}=\left(\frac{n_{lent}}{n_{ext}}-1\right)\times\left(\frac{1}{R_{inc}}-\frac{1}{R_{eme}}\right).$$

5.3 Amétropies, Défauts de l'œil.

Définitions : on appelle **œil emmétrope** ou **normal** un œil ne possédant pas de **défaut visuel**. A l'inverse, en cas de présence d'un défaut visuel, on parle d'œil **amétrope**. les défauts de l'œil, sont définis par rapport à l'œil **emmétrope** considéré comme **référence**.

5.3.1 Œil emmétrope.
5.3.1.1 Définition.



La forme **géométrique** de l'œil **normal** est approximativement **sphérique.**

F.P.I de l'œil au repos sur TJ

5.3.1.2 Caractéristiques de l'œil emmétrope.

Au repos, les rayons lumineux issus d'un objet rejeté à l'infini, **convergent** sur la tache jaune, l'image est **ponctuelle**.

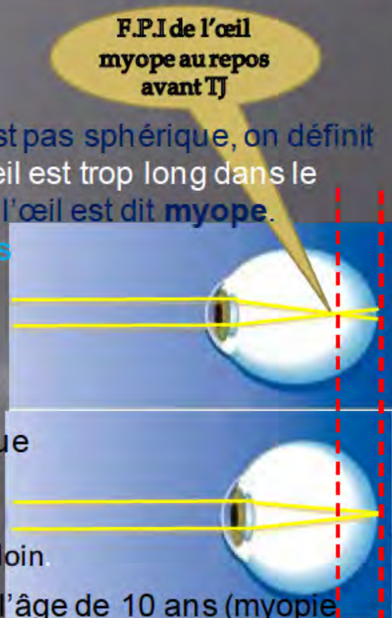
La vision **éloignée** d'un œil emmétrope est caractérisée par un **PR = -∞**. Sa vision **rapprochée** est caractérisée par un **PP = - 25 cm**.

14

5.3.2 Œil myope, myopie.
5.3.2.1 Définition

F.P.I de l'œil myope au repos avant TJ

Si la forme géométrique de l'œil n'est pas sphérique, on définit un œil **Amétrope**. Dans le cas ou L'œil est trop long dans le sens antéro-postérieur (forme ovale), l'œil est dit **myope**.



Au repos, les rayons lumineux issus d'un objet rejeté à l'infini, **convergent avant la tache jaune** de l'œil myope.

Ils forment une image qui **n'est pas ponctuelle sur la tache jaune**.

L'œil myope **est plus convergent** que l'œil normal.

Les **objets éloignés** ne se pas **vus nettement** par le myope, vision flou de loin.

Cette myopie souvent révélée vers l'âge de 10 ans (myopie dite « scolaire ») se **stabilise** ou **évolue peu à l'âge adulte**. Elle ne dépasse en général pas – 6,00 dioptries.

15

5.3 Amétropies, Défauts de l'œil.

Définitions : on appelle **œil emmétrope** ou **normal** un œil ne possédant pas de **défaut visuel**. A l'inverse, en cas de présence d'un défaut visuel, on parle d'œil **amétrope**. les défauts de l'œil, sont définis par rapport à l'œil **emmétrope** considéré comme **référence**.

5.3.1 Œil emmétrope.

5.3.1.1 Définition.



La forme **géométrique** de l'œil **normal** est approximativement **sphérique.**

5.3.1.2 Caractéristiques de l'œil emmétrope.

Au repos, les rayons lumineux issus d'un objet rejeté à l'infini, **convergent** sur la tache jaune, l'image est **ponctuelle**.

La vision **éloignée** d'un œil emmétrope est caractérisée par un **PR =-∞**.
Sa vision **rapprochée** est caractérisée par un **PP = - 25 cm**.

16

On distingue deux types de myopies.

a) **la myopie d'indice.**

La diminution du rayon de courbure de la **cornée** (et/ou) la **modification de réfringence** (augmentation/diminution de l'indice de réfraction) d'un des milieux transparent (cristallin) peut générer une myopisation.

Elle peut porter :

- **sur la cornée** : kératocône
- **sur le cristallin** : cataracte nucléaire.

b) **la myopie maladie ou myopie forte.**

Myopie forte **évolutive** au-delà de – 6,00 dioptries.

Elle débute **précocement**, parfois de façon **familiale** ; elle associe des **altérations oculaires** portant surtout sur la **rétine et la choroïde** (« **étirement » des tissus, atrophie**) et peut se compliquer notamment de **décollement de la rétine**, **d'hémorragies maculaires** et de **glaucome**.

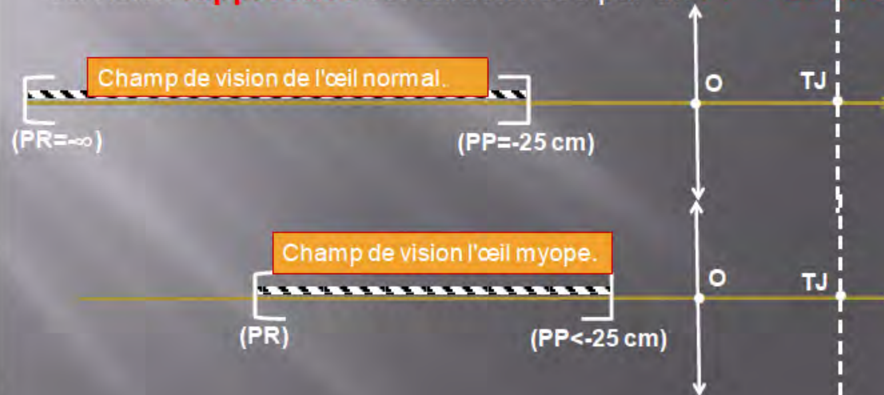
Elle évolue malheureusement toute la vie. Elle peut atteindre **– 30,00** dioptries ou davantage.

17

5.3.2.2 Caractéristiques de l'œil myope.

La vision **éloignée** d'un œil myope est caractérisée par un **PR réel** situé à une **distance finie**, la position du **PR** dépend de la **sévérité** de la myopie, elle **varie** d'un sujet à un autre .

Sa vision **rapprochée** est caractérisée par un **PP < -25 cm**.



18

5.3.3 Œil Hypérope, Hyperéropie (Hypermétropie).

5.3.3.1 Définition



C'est une **anomalie de la réfraction** qui est très répandue, notamment **chez l'enfant**.

Chez **l'hypermétrope**, l'œil **n'est pas assez convergent** et l'image d'un objet situé à l'infini se forme en arrière du plan rétinien et **est donc vue floue.**

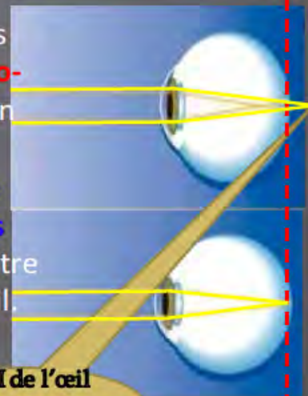
Par conséquent, les **objets éloignés** ne se pas **vus nettement** par l'œil hypérope au repos.

Cette vision peut cependant être **compensé** par **l'accommodation** qui va **ramener l'image** sur le **plan rétinien,** il doit accommoder pour les voir.

Cela entraîne chez l'hypermétrope la **mise en jeu permanente** de **l'accommodation**, en vision **de loin** aussi bien qu'en **vision de près**.

On distingue trois types **d'hypermétropie.**

a) L'hypermétropie axile.



Elle est de très loin, **la plus fréquente**. Dans ce cas, l'anomalie porte sur la **longueur antéro-postérieur** de l'œil qui est **trop courte** pour son **pouvoir de convergence**.

A la **naissance**, il existe habituellement **une hypermétropie de ce type de 2 ou 3 dioptries** qui **diminue progressivement** jusqu'à disparaitre à l'adolescence avec le développement de l'œil.

Mais l'hypermétropie peut être plus importante et **persister à l'âge adulte.**

b) L' hypermétropie de courbure.

Dans ce cas, le défaut optique est une **insuffisance de la courbure** cornéenne. Ce type **d'hypermétropie** est très rare, on peut avoir :

- **Une anomalie cornéenne** appelée **cornea plana**
- **Une cicatrice d'un traumatisme.**

c) L'hypermétropie d'indice.

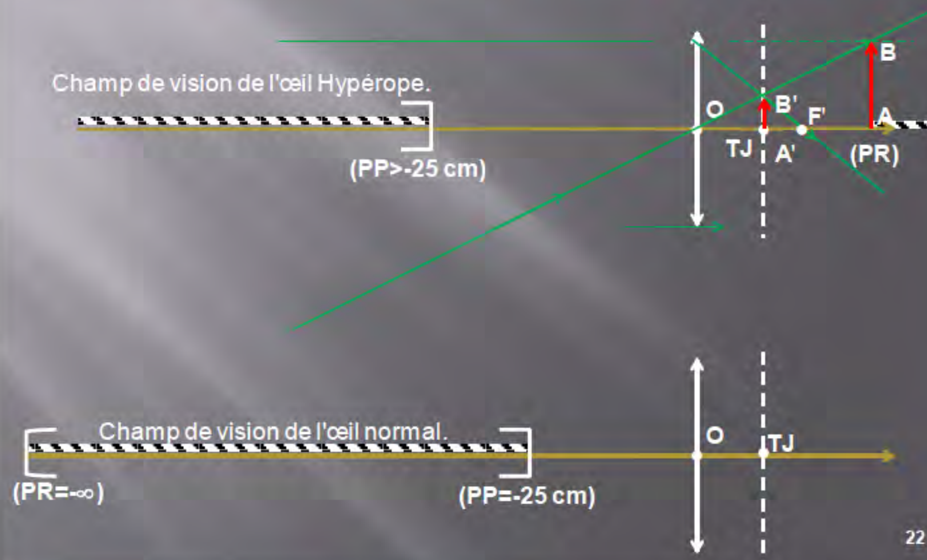
Elle est due à **une diminution de la réfraction** du cristallin, et peut apparaître de façon **très progressive** chez le sujet **âgé**; elle est beaucoup **plus rare** que la myopie d'indice.

5.3.3.2 Caractéristiques de l'œil hypermétrope.

La vision **éloignée** d'un œil Hypérope est **caractérisée** par une vision **avec accommodation** son œil n'est jamais **au repos**, c.à.d. un **PR virtuel** situé à une **distance finie. Son PR** dépend de la **sévérité** de l'hypéropie et il **varie** d'un sujet à un autre .

Sa vision **rapprochée** est caractérisée par un **PP > - 25 cm**.

Comment on détermine **géométriquement** le PR d'un **hypérope**, connaissant la position **de l'image et celle du F.P.I.**



22

5.3.4 Œil Presbyte, Presbytie.

5.3.4.1 Définition.

La presbytie est un trouble de la vision qui rend difficile la vision de près, (lecture, ou effectuer un travail de près). Ce n'est pas une **maladie** mais un processus de **vieillissement normal** de l'œil et plus particulièrement du **cristallin**.

La presbytie se manifeste par une **diminution du pouvoir d'accommodation** de l'œil avec l'âge.

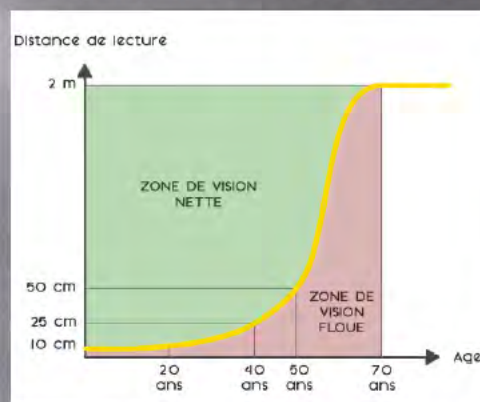
Elle **débute vers 45 ans** pour devenir **maximale à 60 ans**. Elle concerne ***tous les individus***.

Les structures en cause sont :

- **Le cristallin** dont le noyau se modifie et dont la capsule perd son élasticité.
- **Le muscle ciliaire** qui n'est plus capable d'assurer le relâchement de la zonule.

23

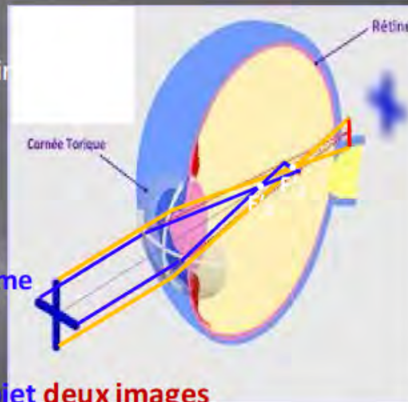
Le PP varie en fonction de l'âge du sujet, la courbe suivant explicite l'évolution du PP en fonction de l'âge.



24

5.3.5 Œil Astigmate, Astigmatie.

5.3.5.1 Définition.

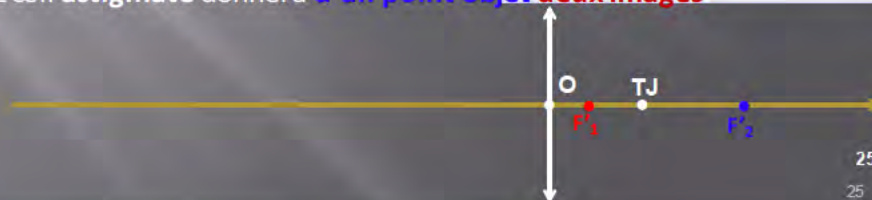


Dans cette anomalie de la réfraction oculaire la **cornée n'a plus** la forme d'une **calotte de sphère** de **courbure régulière**.

Son **rayon de courbure varie** de façon progressive entre **deux valeurs** qui correspondent à **deux plans d'incidence**, dit **plans principaux** qui définissent **l'astigmatisme**.

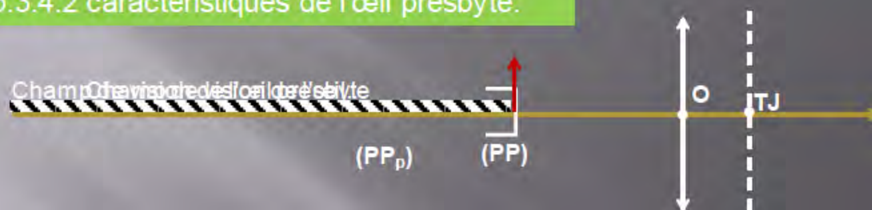
Ces plans principaux sont habituellement perpendiculaires l'un à l'autre.

L'œil **astigmate** donnera **d'un point objet deux images**



25

5.3.4.2 caractéristiques de l'œil presbyte.



Le **PP** de l'œil presbyte **varie**, il **devient plus éloigné**.

Le **PR** de l'œil presbyte **ne varie pas**.

26

5.3.5.2 différents types d'astigmatisme.

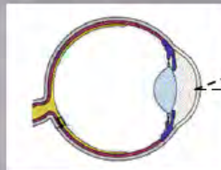
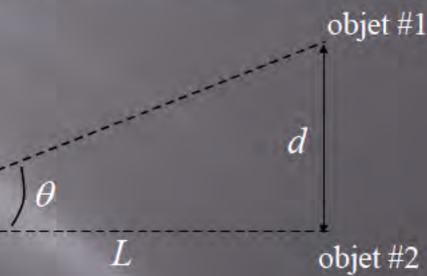
Il existe ainsi cinq types d'astigmatisme selon la position de ces deux foyers images par rapport à la rétine :

- Si **F'$_1$** est située **avant la rétine** et **F'$_2$ sur la rétine**, on est dans un cas **d'astigmatisme myopique simple**.
- Si **F'$_1$ et F'$_2$** sont située **avant la** rétine, on est dans un cas **d'astigmatisme myopique composé.**
- Si **F'$_1$** est **située sur la rétine** et **F'$_2$** derrière la rétine, on est dans un cas **d'astigmatisme hypéropique simple.**
- Si **F'$_1$ et F'$_2$** sont situées **derrière la rétine**, on est dans un cas **d'astigmatisme hypéropique composé**.
- Si **F'$_1$** est **en avant** de la rétine et **F'$_2$ en arrière** de la rétine, on parle **d'astigmatisme composé myopique hypéropique (mixte).**

Pour connaître **la valeur** et **l'axe de l'astigmatisme** on peut utiliser **l'*ophtalmomètre* de *JAVAL*** et la ***skiascopie***, mais l'utilisation d'un **réfractomètre automatique** qui avec les appareils actuels donne des résultats **plus fiables.**

27

Pouvoir séparateur de l'œil

$$\theta_{\min} \approx \frac{d}{L} = \frac{1{,}22\,\lambda}{a}$$

a: Le diamètre de la pupille
λ: La longueur d'onde de la lumière

5.4 Correction des Amétropies de l'œil.

5.4.1 Principe de Correction.

Le **principe de correction** consiste a **utiliser** des **lentilles minces** pour **corriger** la vision de l'œil amétrope

$$AB + L_1 \rightarrow A'B' + L_2 \rightarrow A''B''$$

29

5.4.2 Principe de Correction de l'œil myope .

5.4.2.1 Correction de la vision éloignée.

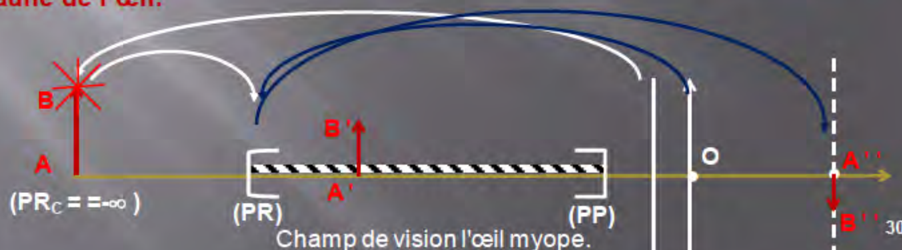
Le myope utilise des **lentilles minces** pour corriger sa **vision éloignée**.

AB: est **l'objet** le plus éloigné que le myope veut voir, cet objet n'est pas vus par l'observateur myope sans ses lentilles, il est noté **PR_C** et rejeté à **l'infini**.

A'B' : est **l'image** de objet donnée par la lentille, elle sera considérée comme objet pour l'œil, elle doit se trouver dans **le CV du myope**.

Pour que la vision se fasse **sans accommodation**, l'image donnée par la lentille doit se trouver sur son **PR.**

A''B'' : **est l'image** finale donnée par l'œil, elle doit se trouver sur la **tache jaune de l'œil.**



30

$$AB + L_1 \rightarrow A'B' + L_2 \rightarrow A''B''$$

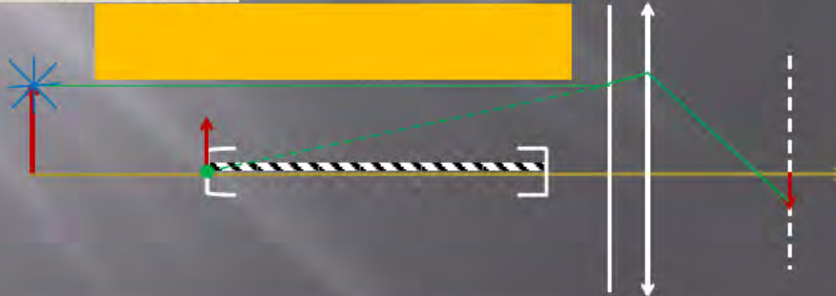
$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}}$$

$$\overline{O_1A} = \overline{O_1PR_C}$$

$$\overline{O_1A'} = \overline{O_1PR}$$

$$\frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1PR_C}} = C_{lentille}$$

$$\overline{O_1F'} = \overline{O_1PR} \Rightarrow F' = PR$$



5.4.2.2 Correction de la vision proche.

La **correction de la vision éloignée entraine** la correction de **la vision proche.** C.à.d. que le myope **utilise** ses lentilles pour **voir les objets éloignés et pour voir aussi les objets proches**.

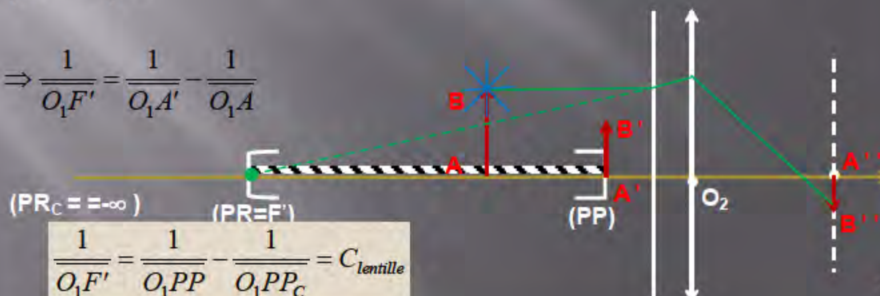
Le même principe est utilisé pour déterminer **le PP_C**

$$AB + L_1 \rightarrow A'B' + L_2 \rightarrow A''B''$$

$$\overline{O_1A} = \overline{O_1PP_C}$$

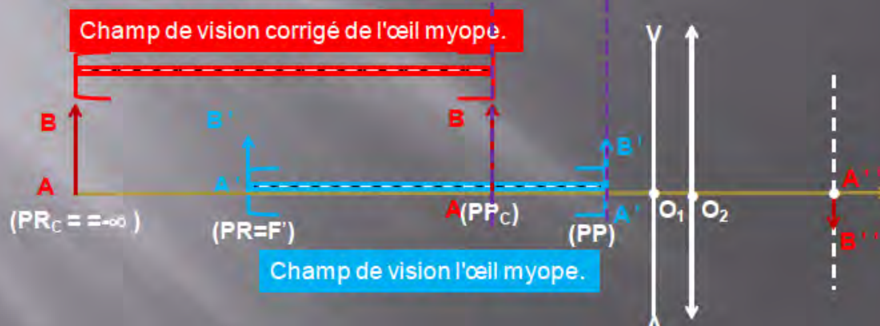
$$\overline{O_1A'} = \overline{O_1PP}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}}$$



$$\frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PP}} - \frac{1}{\overline{O_1PP_C}} = C_{lentille}$$

32



33

5.4.3 Principe de Correction de l'œil hypérope.

5.4.3.1 Correction de la vision éloignée.

L'hypérope utilise des lentilles minces pour corriger sa vision éloignée.

AB: est l'objet le **plus éloigné** vus par l'observateur **sans ses lentilles** avec accommodation, avec ses lentilles il verra **l'objet** sans accommodation, il est noté PR_C et rejeté à l'infini.

A'B' : est **l'image** de objet **donnée** **par la lentille**, **considérée comme objet** pour l'œil, cette image doit se trouver sur le **PR naturel** de l'hypérope pour que la vision se fasse sans accommodation.

A''B'' : **est l'image finale** donné par l'œil, elle doit se trouver sur la **tache jaune** de l'œil.



34

$$AB + L_1 \rightarrow A'B' + L_2 \rightarrow A''B''$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}}$$

$\overline{O_1A} = \overline{O_1PR_C}$: est la position de l'objet le plus éloigné, la vision se fait sans fatigue de l'œil.

$\overline{O_1A'} = \overline{O_1PR}$

$$\frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1PR_C}} = C_{lentille}$$

$$\overline{O_1F'} = \overline{O_1PR} \Rightarrow F' = PR$$



35

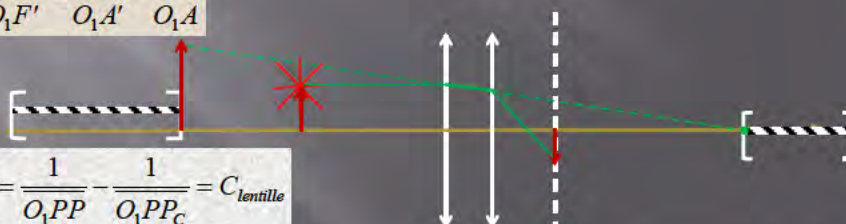


$$AB + L_1 \rightarrow A'B' + L_2 \rightarrow A''B''$$

$\overline{O_1A} = \overline{O_1PP_C}$

$\overline{O_1A'} = \overline{O_1PP}$

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}}$$



$$\frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PP}} - \frac{1}{\overline{O_1PP_C}} = C_{lentille}$$

5.4.4 Principe de Correction de l'œil presbyte.

La **correction** est assurée par des **lentilles convergentes**, **quelle que soit** l'amétropie du sujet.

Le but est de permettre au presbyte **de voir** nettement les **objets proches** à travers ses lentilles correctrices.

- **Chez l'hypermétrope**, la presbytie sera **ressentie** plus tôt, nécessité de rajouter des **verres convergents**.
- **le myope** (**plus convergent** que l'œil normal), **ressentira tardivement** les inconvénients de la presbytie.

Lorsque le sujet possède **deux amétropies**, la correction se fait avec des **verres bifocaux**.

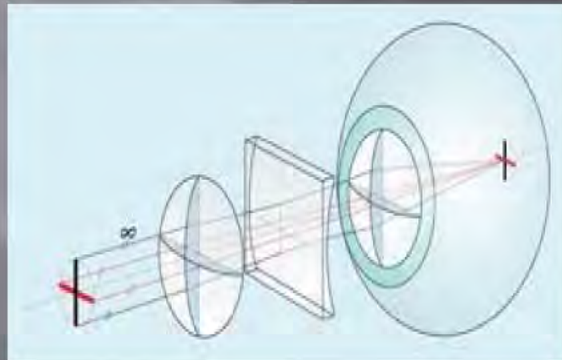
Enfin, la **correction** de la presbytie doit donc toujours **tenir compte de la correction de loin** et vient en **addition** de celle-ci.

37

5.4.5.Principe de Correction de l'œil astigmate.

Le but est **de restituer** les **rayon de courbures** de la cornée. Ce types de verres sont appelés verre **torique** ou **sphèro-cylindrique**.

Ils sont **constitués** d'une **sphère** pour corriger la **vision éloignée**, et d'un **cylindre** pour corriger les **rayons de courbures de la cornée**.



38

15 February 2015

Chapitre 6
INSTRUMENT D'OPTIQUE.
6.1 La loupe.





2

6.1.1 GÉNÉRALITÉS.



Un **objet** est vu par l'œil avec **un maximum de détails** quand il est placé au **punctum proximum**, ce qui nécessite pour l'œil une **accommodation maximale**.

Pour **supprimer** cette **accommodation** on **remplace la vision directe** de l'objet par une **vision indirecte**, celle de l'image obtenue par un système optique.

Cette **image** sera virtuelle, droite, plus grande que l'objet pour réduire l'encombrement du système, loin de l'œil et si possible, l'image doit être située au punctum remotum pour éviter **l'accommodation**, son diamètre apparent devant être le plus grand possible.

6.1.2 Définition.

La loupe est un **système optique** destiné à l'observation des **détails** d'objets non **accessibles** à l'œil nu.

On y parvient grâce à l'utilisation de **loupes** ou **oculaires** qui sont des **systèmes fortement convergents**, constitués par une **lentille** pour les **loupes** et par un **doublet** en général pour les oculaires.

Dans le cas le plus simple, on utilise une lentille **convergente** de focalité **très faible**, de l'ordre de quelques centimètres.



6.1.3 Principe.

$$AB + L_1 \to A'B' + L_2 \to A''B''$$

Le principe **consiste** à placer **l'objet** entre le **foyer objet** de la lentille et **son centre optique**, de manière à obtenir une image **droite très grande.**

Cette **image** sera considérée comme **objet** pour **l'œil** de l'observateur.

Pour une **bonne observation** cette image examinée **doit** se **trouver** dans le **champ de vision de l'observateur**.

$\overline{AB}$

$\overline{A'B'}$

$\overline{A''B''}$

6.1.4 Aspect géométrique.

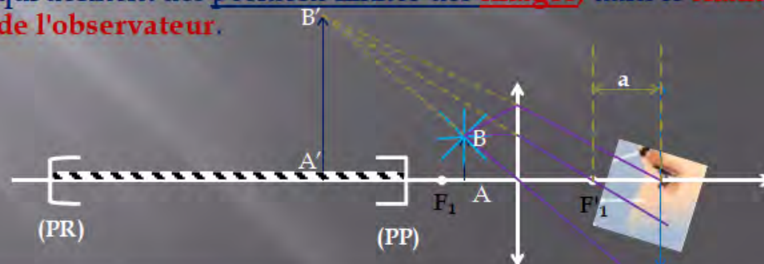
$\overline{AB}$: est l'objet, il est réel et doit se trouver entre O_1 et F_1 de la loupe.

$\overline{A'B'}$

Pour l'œil, les images des objets observés doivent se trouver dans le champ de vision de l'observateur.

Elles possèdent deux positions limites.

La mise au point consiste à déterminer les positions limites des objets qui donnent des positions limites des images, dans le champ de vision de l'observateur.

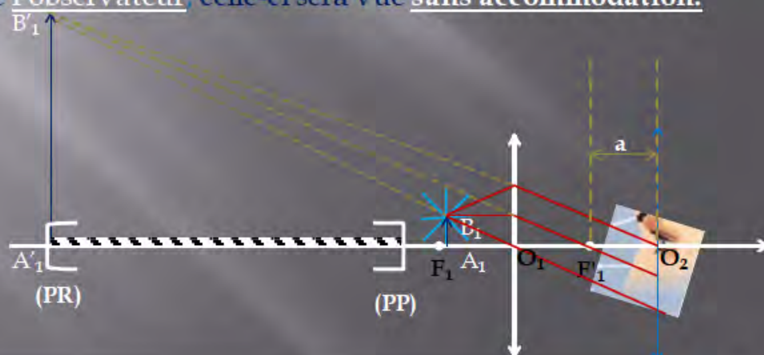


15 February 2015

6.1.5.1 vision au PR.

La première image doit se trouvée sur le PR de l'observateur, celle-ci est vue sans accommodation.

Pour déterminer la première position de l'objet par rapport à la loupe, qui donne une première position de l'image vue sans accommodation, on doit placer cette image, donnée par la loupe, sur le PR de l'observateur, celle-ci sera vue sans accommodation.



7

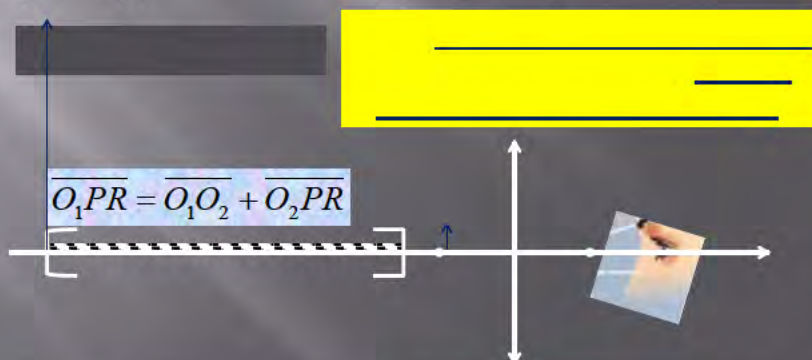
$$A_1B_1 + L_1 \rightarrow A_1'B_1' + L_2 \rightarrow A_1''B_1''$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}}$$

$\overline{O_1A_1}$

$\overline{O_1A_1'} = \overline{O_1PR}$

$$\frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}} = C_{loupe} \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A_1}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1F'}}$$



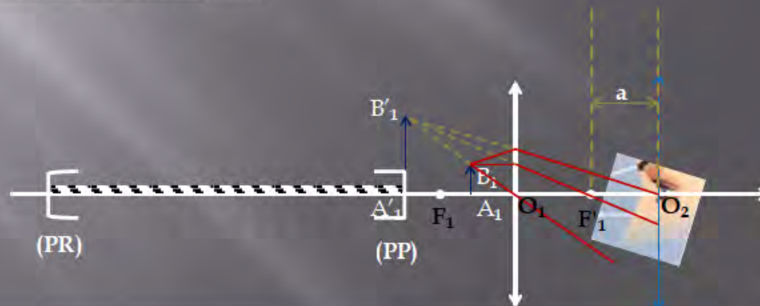
$\overline{O_1PR} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2PR}$

15 February 2015

6.1.5.2 vision au PP.

La deuxième image doit se trouvée sur le PP de l'observateur, celle-ci est **vue avec accommodation maximale**.

Pour déterminer la **deuxième** position de **l'objet** par rapport à la loupe, qui donne une deuxième position d'image **vue avec accommodation maximale**, on doit placer cette image, donnée par la loupe, sur le PP de **l'observateur**, celle-ci sera vue **avec accommodation maximale.**



9

$$A_2B_2 + L_1 \rightarrow A_2'B_2' + L_2 \rightarrow A_2''B_2''$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1A'}} - \frac{1}{\overline{O_1A}}$$

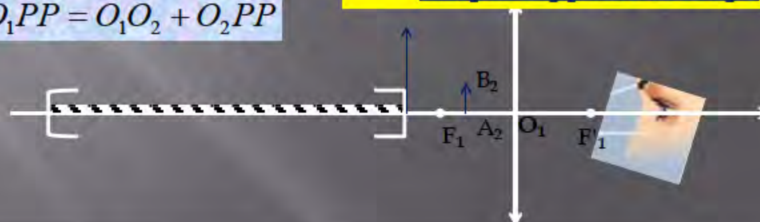
$\overline{O_1A_2}$

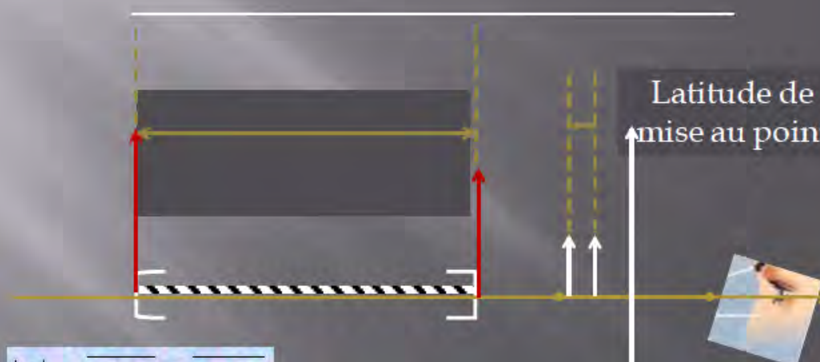
$$\overline{O_1A_2'} = \overline{O_1PP}$$

$$\frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PP}} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}} = C_{loupe} \Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1A_2}} = \frac{1}{\overline{O_1PP}} - \frac{1}{\overline{O_1F'}}$$

Le **PP est définit par rapport à l'œil** de l'observateur mais les **calculs sont fait par rapport à la loupe**.

$$\overline{O_1PP} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2PP}$$





$$|L| = \overline{O_1A_1} - \overline{O_1A_2}$$

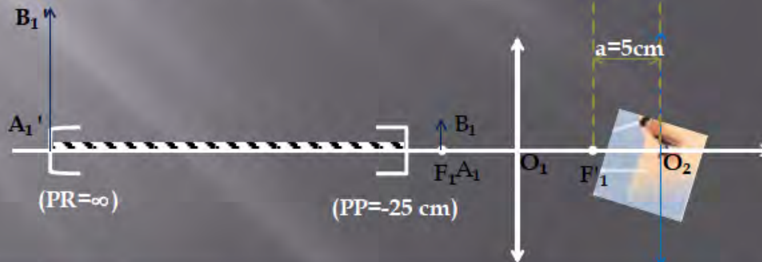
$$|L| = \left(\overline{O_1F'}\right)^2 \times \left[\frac{1}{\overline{O_1PP} - a} - \frac{1}{\overline{O_1PR} - a}\right]$$

6.1.5.4 Exemple d'un observateur normal

Calculer la latitude de mise au point pour un observateur normal, utilisant une loupe de 5 cm de distance focale. Il place son œil à 5 cm du foyer image de la loupe.

a) vision au PR. $A_1B_1 + L_1 \rightarrow A_1'B_1' + L_2 \rightarrow A_1''B_1''$

$$\frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PR}} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}} \Rightarrow \frac{1}{5} = \frac{1}{\infty} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}} \Rightarrow \overline{O_1A_1} = -5cm$$

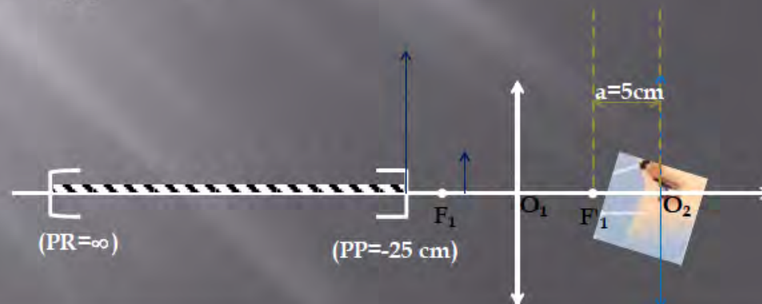


a) vision au PP. $A_2B_2 + L_1 \rightarrow A_2'B_2' + L_2 \rightarrow A_2''B_2''$

$$\frac{1}{\overline{O_1F'}} = \frac{1}{\overline{O_1PP}} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}}$$

$$\overline{O_1PP} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2PP} \Rightarrow \overline{O_1PP} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2PP} = (+10) + (-25) = -15cm$$

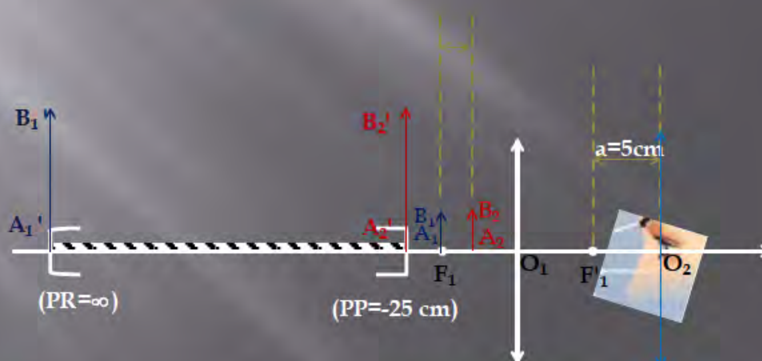
$$\frac{1}{5} = \frac{1}{-15} - \frac{1}{\overline{O_1A_2}} \Rightarrow \overline{O_1A_2} = -3{,}75cm$$



On déduit que la latitude de mise au point est de :

$$|L| = \overline{O_1A_1} - \overline{O_1A_2} = (-5) - (-3{,}75) = 1{,}25cm$$

$$|L| = (5)^2 \times \left[\frac{1}{25-5} - \frac{1}{\infty}\right] = 1{,}25cm$$



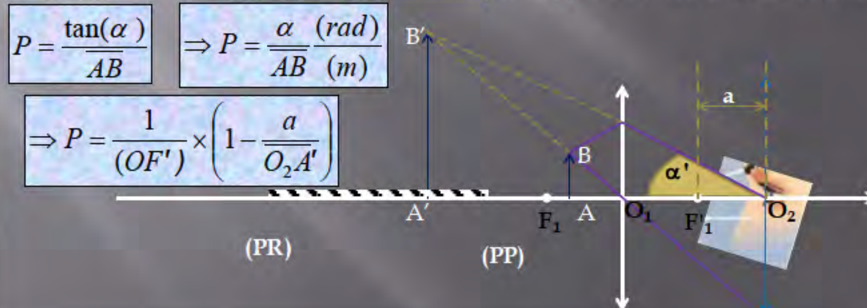
15 February 2015

6.1.6 Puissance et grossissement de la loupe.

6.1.6.1 Puissance.

a) Définition.

- On appelle **puissance** d'un système optique, notée P, le rapport de la tangente du diamètre apparent de l'image α' sur la **taille de l'objet (AB)**.
- Quand l'angle α' est petit (faible incidence), on peut confondre tan (α') avec α exprimé en radian.
- l'expression précédente donne la **PUISSANCE** en dioptries si la longueur **AB** est exprimée en **mètres.**
- La puissance dépend de la distance focale de la loupe, de la position de l'œil ainsi que de position de l'image par rapport à l'œil de l'observateur.



$$P = \frac{\tan(\alpha)}{\overline{AB}}$$

$$\Rightarrow P = \frac{\alpha}{\overline{AB}} \frac{(rad)}{(m)}$$

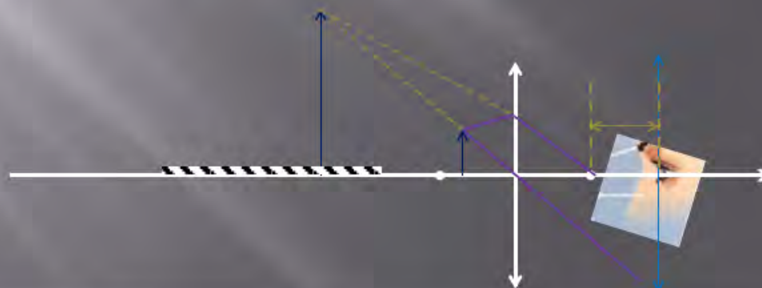
$$\Rightarrow P = \frac{1}{(OF')} \times \left(1 - \frac{a}{O_2A'}\right)$$

b) Cas particuliers.

- Dans le cas particulier ou l'observateur place son œil sur le foyer principal image de la loupe, (a = 0); la puissance sera égale à :

$$\Rightarrow P = \frac{1}{(OF')} \times \left(1 - \frac{0}{O_2A'}\right)$$

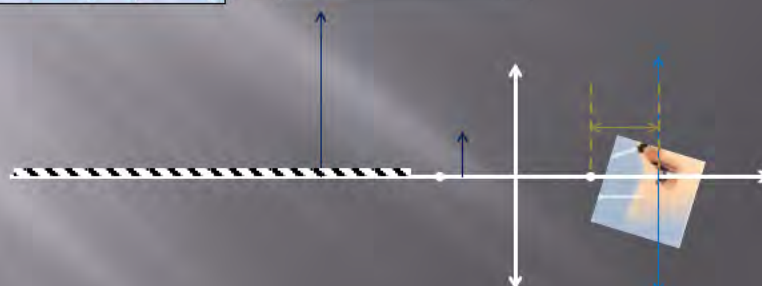
$$\Rightarrow P = \frac{1}{(OF')} = C_{loupe}$$



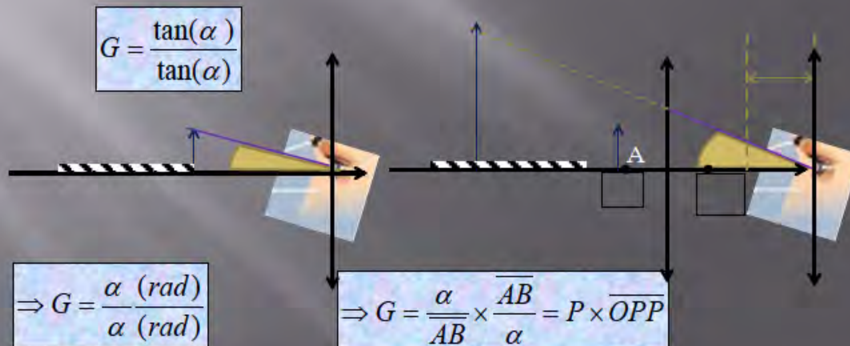
- Et si l'observateur est normal et que la vision se fait sans accommodation, l'image se trouve sur le PR = ∞, $O_2A' = O_2PR = \infty$

$$\Rightarrow P = \frac{1}{(OF')} \times \left(1 - \frac{a}{\infty}\right)$$

$$\Rightarrow P = \frac{1}{(OF')} = C_{loupe}$$



$$\Rightarrow P = \frac{1}{(OF')} = C_{loupe}$$



$$G = \frac{\tan(\alpha')}{\tan(\alpha)}$$

$$\Rightarrow G = \frac{\alpha'\ (rad)}{\alpha\ (rad)}$$

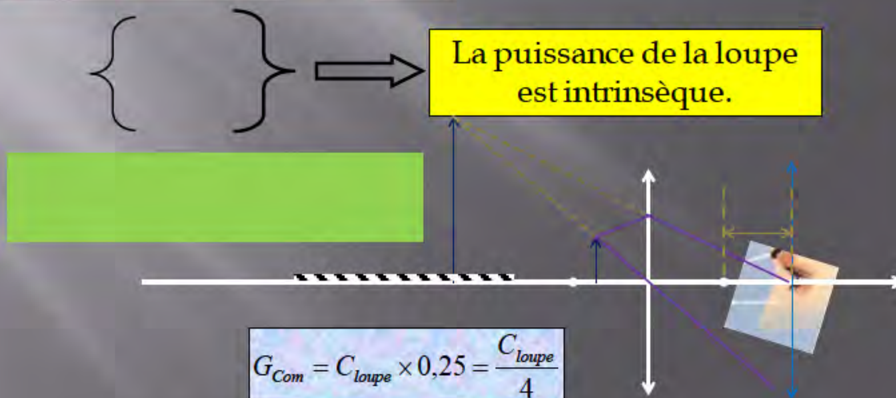
$$\Rightarrow G = \frac{\alpha'}{\overline{A'B'}} \times \frac{\overline{AB}}{\alpha} = P \times \overline{OPP}$$

b) Cas particuliers.

➢ Dans le cas particulier ou la **puissance de la loupe est intrinsèque** est que **l'observateur est emmétrope**, on définit le **grossissement commercial**.

$$G = P \times \overline{OPP} = \frac{1}{\overline{OF'}} \times \left(1 - \frac{a}{\overline{O_2A'}}\right) \times \overline{OPP}$$

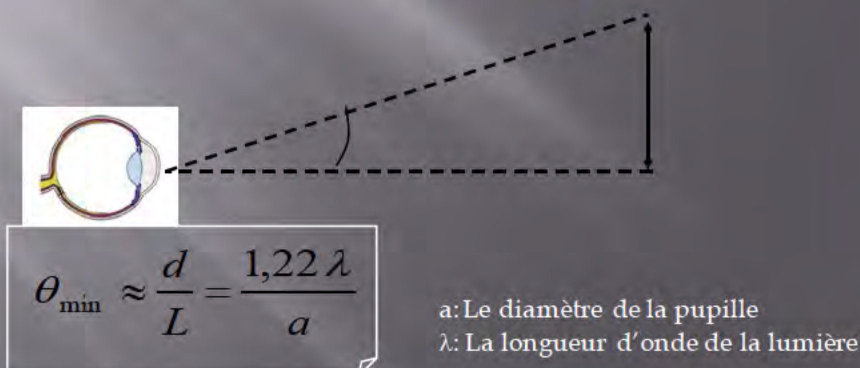
La puissance de la loupe est intrinsèque.



$$G_{Com} = C_{loupe} \times 0,25 = \frac{C_{loupe}}{4}$$

Il représente la **taille** du **plus petit objet**, placé sur le PP de l'observateur, **pouvant être vu nettement**. On l'appelle aussi **pouvoir de résolution**.

Il définit aussi la **quantité minimale** de l'énergie emportée par la radiation incidente pouvant excité la cellule **réceptrice**.



$$\theta_{min} \approx \frac{d}{L} = \frac{1,22\,\lambda}{a}$$

a: Le diamètre de la pupille
λ: La longueur d'onde de la lumière

Chapitre 6
INSTRUMENT D'OPTIQUE.
6.2 Le microscope.



6.2.1 GÉNÉRALITÉS.

Le nom microscope vient du grec. ***Mikros*** signifie « **très petit** » et évoque la mesure du millimètre. ***Skope*** signifie « **observer** » évoque la vision. Le microscope est un instrument destiné à observer les détails d'un objet ne pouvant pas être perçus par l'œil muni d'une **loupe.**



6.2.2 Définition.

Dans le cas le plus simple, on utilise un système optique équivalent à deux lentilles minces convergentes.

- **L'objectif**: la lentille qui se trouve du coté de l'objet est une lentille **très convergente**, son rôle est de fournir une image réelle, plus grande et renversée, de tout objet placé légèrement devant son foyer principal objet.
- **L'oculaire,** est une deuxième lentille qui se trouve du coté de l'œil, **moins convergente** que l'objectif, elle joue le rôle de loupe pour l'image intermédiaire. Cette dernière fournie une image virtuelle, droite très grande devant l'objet.

La distance focale de l'objectif est de **quelques millimètres** celle de l'oculaire est de **quelques centimètres**.

6.2.3 Principe.

$$AB + L_1 \rightarrow A_1'B_1' + L_2 \rightarrow A_2'B_2' + L_3 \rightarrow A_3'B_3'$$

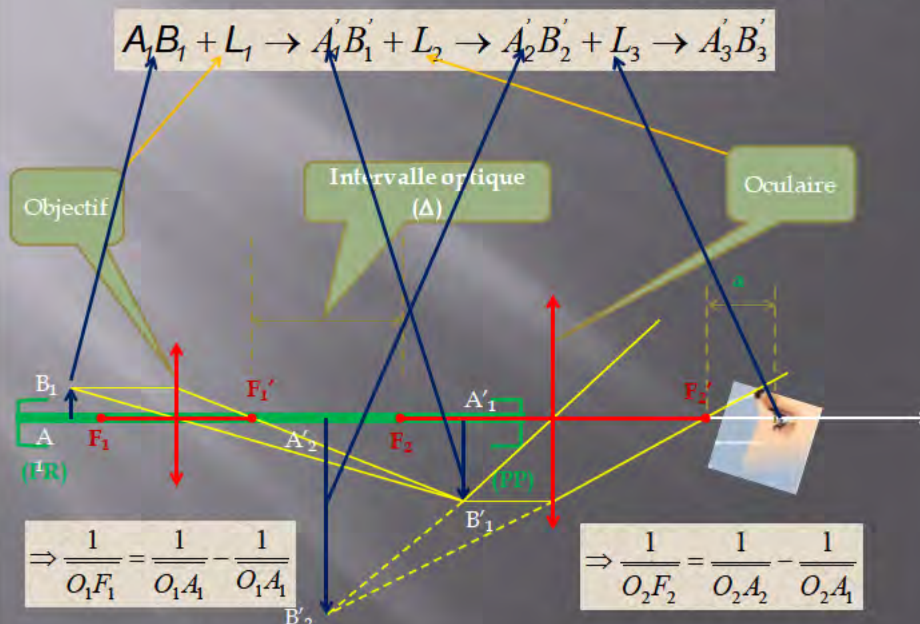
Le principe **consiste** à placer **l'objet** légèrement devant le **foyer objet** de l'objectif, de manière a obtenir une **image réelle**, **renversée très grande.**

Cette première image sera considérée comme objet pour l'oculaire du **microscope**, elle doit se trouver entre **le foyer objet de l'oculaire et son centre optique. L_2 joue le rôle de loupe pour l'image intermédiaire** .

L'oculaire donne de cette image intermédiaire une autre image virtuelle droite très grande devant l'objet, de sorte que cette dernière soit dans le **CV de l'observateur**.

Pour une bonne **observation** cette image finale donnée par le microscope sera examinée, elle **doit** se trouver dans le **champ de vision de l'observateur**.

Le schéma à suivre est le suivant:

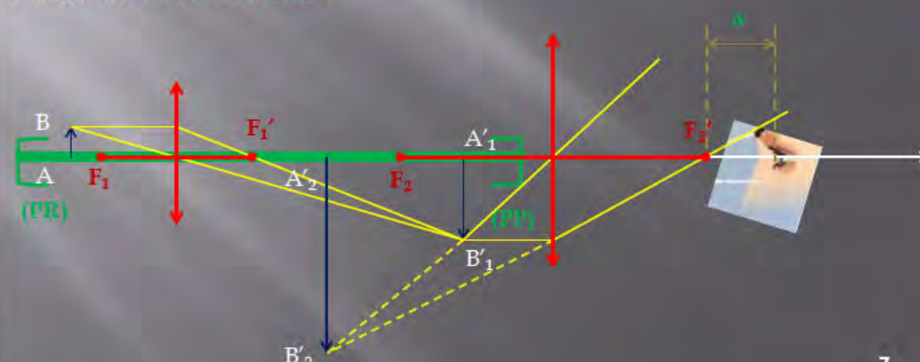


6.2.5. Mise au point.

Pour **l'œil**, les **images** des **objets** observés doivent se trouver dans le **champ de vision de l'observateur.**

Elles possèdent **deux positions limites**.

La mise au point **consiste** à déterminer les positions limites des **objets** qui donnent des positions limites des **images**, dans le **champ de vision de l'observateur**.



$$A_1B_1 + L_1 \rightarrow A_1'B_1' + L_2 \rightarrow A_2'B_2' + L_3 \rightarrow A_3'B_3'$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{O_1F_1}} = \frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{\overline{O_1A_1}}$$

$$avec : \overline{O_1A_1} = \overline{O_1O_2} + \overline{O_2A_1}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\overline{O_2F_2}} = \frac{1}{\overline{O_2A_2}} - \frac{1}{\overline{O_2A_1}}$$

$$et : \overline{O_2A_2} = \overline{O_2O_3} + \overline{O_3A_2}$$

$$avec : \overline{O_3A_2} = \overline{O_3PR}$$

$$avec : \overline{O_3A_2} = \overline{O_3PP}$$

$$|L| = \overline{O_1A_1} - \overline{O_1A_2}$$

15 February 2015

6.2.6 Puissance et grossissement du microscope

6.2.6.1 Puissance.

a) Définition.

- Elle est définie de la même manière que dans le cas de la loupe par le rapport du **diamètre apparent de l'image** donnée par le microscope sur la **taille de l'objet**:

$$P_{micro} = \frac{\alpha_2}{AB}\frac{(rad)}{(m)}$$

- l'expression précédente donne la puissance en dioptries si la longueur AB est exprimée en mètres.

- La puissance du microscope, dépend du coefficient de grandissement de l'objectif et de la puissance de l'oculaire.

$$P_{micro} = \frac{\overline{A'B'}}{AB} \times \frac{\alpha_2}{A'B'} = \gamma_{obj} \times P_{ocul}$$

$$avec : \gamma_{obj} = \frac{A_1'B_1'}{A_1B_1}$$

$$et : P_{ocul} = \frac{1}{(O_2F_2)} \times \left(1 - \frac{a}{O_3A_3}\right)$$

b) Cas particuliers.

➢ Dans le cas particulier ou la vision se fait á l'infini, on définit la puissance **intrinsèque ou nominale** du microscope. la **puissance sera donnée par :**

$$P_{mic}^{int} = C_1 \times C_2 \times \Delta$$

$$C_1 = \frac{1}{(\overline{O_1F_1})} : et, C_2 = \frac{1}{(\overline{O_2F_2})}$$

$$et : \Delta = \overline{F_1'F_2}$$

➢ On définit le **Grossissement** d'un microscope, **notée G**, de la même manière que dans le cas de la loupe.

➢ Quand les angles (α_2' et α_1) sont faible, on peut les exprimer en radian.

➢ Le grossissement dépend de la puissance de la loupe et de la taille l'objet.

$$G_{micro} = \frac{\alpha_2\,(rad)}{\alpha_1\,(rad)}$$

$$\Rightarrow G_{micro} = P_{micro} \times \overline{O_3PP}$$

$$G_{comer} = P_{mic}^{int} \times \overline{O_3PP} = \frac{C_1 \times C_2 \times \Delta}{4}$$